

## DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND XCIX.

---

I. *Ueber Combinationstöne; von H. Helmholtz.*

---

Man weiß im Allgemeinen, daß wenn in derselben Luftmasse von mehreren tönenden Körpern Schallwellenzüge erregt werden, jedes einzige Wellensystem sich so ausbreitet und so verhält, wie wenn die übrigen gar nicht vorhanden wären. Es findet eine ungestörte Superposition der verschiedenen Wellenzüge in der Luftmasse statt. Andererseits weiß man, daß auch das menschliche Ohr, gleichzeitig von mehreren solchen Schallwellenzügen getroffen, die Fähigkeit hat, jeden einzelnen unter ihnen einzeln wahrzunehmen und zu erkennen. Aber das Ohr hört in solchem Falle nicht bloß die verschiedenen von den tönenden Körpern erregten Töne, sondern es hört außer diesen, wenn auch schwach, noch andere Töne, die Combinationstöne, welche nicht primär von einem der tönenden Körper, sondern erst secundär durch das Zusammentreffen zweier primären Töne entstehen. Da man der ungestörten Superposition der Schallwellenzüge in der Luft gewiß zu seyn glaubte, hat man die Combinationstöne bisher stets als subjective Erscheinungen aufgefaßt, d. h. als solche, die nur in der besonderen Weise, wie der Hörnerv die Schallvibrationen empfindet, gegründet sind. Sobald es sich darum handelt, die fundamentalen Eigenschaften des Hörnerven festzustellen, bilden die Combinationstöne einen Gegenstand von besonderer Wichtigkeit. Da ich außerdem fand, daß sowohl in Bezug auf die Thatfachen noch Zweifel bestehen konnten, als auch die bisherigen Erklärungsweisen noch nicht eine feste Formulirung klarer Begriffe über die Thä-

tigkeit des Hörnerven zuzulassen schienen, so glaubte ich es nützlich den genannten Gegenstand einer neuen Untersuchung zu unterwerfen. Dabei fand ich eine neue bisher unbekannte Klasse von Combinationstönen, welche in die bisherigen Theorien nicht hineinpaßte; ich fand, daß es auch objective Combinationstöne giebt, welche unabhängig vom menschlichen Ohre bestehen, und daß man endlich eine von den bisherigen ganz verschiedene Theorie der Combinationstöne geben kann, bei welcher für ihre Erklärung keine besondere Eigenschaft des Hörnerven vorausgesetzt wird, und welche vollständiger als die bisherigen die Thatsachen umfaßt.

1. Bestimmung der tieferen Combinationstöne von zwei einfachen Tönen.

Die ersten Angaben über die Höhe der im Jahre 1745 von Sorge entdeckten, später von Tartini weiter untersuchten Combinationstöne beziehen sich nur auf den Fall, wo das Schwingungsverhältniß der beiden primären Töne durch zwei um eine Einheit verschiedene ganze Zahlen  $m$  und  $m+1$  ausgedrückt werden kann. In derselben Zeit, wo die primären Töne  $m$  und  $m+1$  Schwingungen vollführen, macht der Combinationston eine Schwingung (nicht, wie Tartini irrthümlich behauptete, zwei). Nach der Analogie dieses Falles hat Chladni<sup>1)</sup> die allgemeinere Regel ausgesprochen, daß überhaupt in allen Fällen, wo das Schwingungsverhältniß der primären Töne durch zwei relative Primzahlen  $m$  und  $n$  ausgedrückt werden kann, die Höhe des Combinationstons durch die Zahl 1 auszudrücken sey. Dieses Gesetz scheint er aber nur aus seiner theoretischen Ansicht über die Entstehungsweise der Combinationstöne gefolgert zu haben. W. Weber<sup>2)</sup> modificirte dieß Gesetz später noch weiter, so daß es auch auf irrationelle Tonverhältnisse paßte, und schloß sich dabei der

1) Akustik, Leipzig 1802, S. 207.

2) Diese Ann. Bd. XV, S. 216.

Beobachtung an, daß auch ein nicht ganz rein gestimmtes Intervall ziemlich denselben Combinationston giebt wie ein rein gestimmtes. Er schrieb vor, das Schwingungsverhältniß in einen Kettenbruch zu entwickeln, und daraus die Reihe der Näherungswerthe zu finden. Jedem einzelnen Näherungswerthe könnte dann ein besonderer Combinationston entsprechen.

Dagegen stellte Hällström<sup>1)</sup>, sich auf eine große Reihe eigener Beobachtungen stützend, das Gesetz auf, daß in jedem Falle, wenn  $m$  und  $n$  die Schwingungszahlen der primären Töne sind, die Schwingungszahl des ersten Combinationstones  $m - n$  sey. Diese Regel fällt mit der älteren nur dann zusammen, wenn  $m$  und  $n$  ganze Multipla von  $(m - n)$  sind, wenn also das Schwingungsverhältniß der beiden primären Töne durch zwei um eine Einheit verschiedene ganze Zahlen ausgedrückt werden kann. Wäre aber zum Beispiel das Schwingungsverhältniß 5:3, so würde nach Chladni der Combinationston 1, nach Hällström dagegen der Ton 2 entstehen.

Schon Thomas Young<sup>2)</sup> hatte bemerkt, daß zuweilen zwei Combinationstöne zu hören sind, z. B. bei der großen Terz die Quarte unter dem Grundtone neben der zweiten tieferen Octave. Hällström erklärt das Entstehen solcher anderen Combinationstöne dadurch, daß der erste Combinationston mit einem der primären Töne einen Combinationston zweiter Ordnung bilden könne, dieser wieder einen dritter Ordnung u. s. w. Sind also  $m$  und  $n$  die Schwingungszahlen, so giebt

$m$ mit $n$	den Combinationston	$m - n$
$n$ mit $m - n$	„	$2n - m$
$m$ mit $2m - n$	„	$2m - 2n$

Mit den Beobachtungen, welche Hällström über Violintöne angestellt hat, stimmt seine Berechnungsweise

1) Diese Ann. Bd. XXIV, S. 438.

2) *Philos. Transact.* 1800. T. I, p. 106 — 150.

der Combinationstöne vollständig überein, während die Berechnung durch Kettenbrüche nach W. Weber nur in einer kleinen Zahl von Fällen einigermaßen passende Ergebnisse liefert. Nur ist es auffallend, daß Hällström verhältnißmäßig oft den ersten Combinationston nicht hören konnte, während andere deutlich waren, und daß er bei denselben Intervallen der primären Töne, wenn sie in wenig von einander verschiedener Höhe angegeben wurden, oft verschiedene Combinationstöne hörte.

Hällström's Gesetze über die Höhe der Combinationstöne wurden von Scheibler <sup>1)</sup> und Roeber benutzt, um die Zahl der Schwebungen zu berechnen, welche beim Zusammenklingen zweier oder mehrerer Stimmgabeln von genau bekannten Schwingungszahlen entstehen, und hierbei wurde eine außerordentliche genaue Uebereinstimmung der Rechnung mit der Beobachtung gefunden.

Gegen die Ansicht, daß ein Combinationston erster Ordnung mit denselben zwei primären Tönen, durch deren Combination er entstanden ist, neue Combinationstöne zweiter und dritter Ordnung bilden könne, erhob Poggendorff <sup>2)</sup> theoretische Bedenken; Roeber <sup>3)</sup> selbst, der die Theorie der Versuche von Scheibler ausgearbeitet hatte, will die Herleitung der Stöße aus den Combinationstönen höherer Ordnung keineswegs für den Ausdruck des eigentlichen physikalischen Vorganges ausgeben. Wenn also auch die wahrgenommenen Combinationstöne sich in Bezug auf ihre Höhe unter Hällström's Gesetz bringen ließen, so schienen doch ihre Ordnung und die Bedingungen ihrer Entstehung noch zweifelhaft zu bleiben. Zu bemerken ist übrigens, daß auch der nach der älteren Theorie vorhandene Ton, dessen Schwingungszahl dem größten gemeinschaftlichen Theiler derjenigen der primären Töne entspricht, in der Reihe der Töne von Hällström vorkommt.

1) Diese Annalen Bd. XXXII, S. 493 bis 503.

2) Ebendaselbst S. 522.

3) Dove und Moser, Repertorium Bd. III, S. 38.



Die Verschiedenheiten in den Resultaten von Hüllström mochten zum Theil durch verschiedene Reinheit in der Stimmung der Intervalle, zum Theil durch das Vorhandenseyn starker höherer Nebentöne bedingt seyn; namentlich sind wohl Violintöne, an denen er die Beobachtungen anstellte, und in denen der Grundton sehr stark von seiner höheren Octave, und recht hörbar von deren Quinte begleitet wird, wenig geeignet zu diesen Versuchen. Da alle Combinationstöne höherer Ordnung nach ihm unter den Ausdruck  $am - bn$  fallen, wo  $a$  und  $b$  zwei beliebige ganze Zahlen,  $m$  und  $n$  die Schwingungszahlen der primären Töne bezeichnen, so können sie auch alle durch Combination von zwei Obertönen der primären Töne entstanden seyn<sup>1)</sup>. Der erste Combinationston des  $a$ ten Obertones von  $m$  und des  $b$ ten von  $n$ , würde die Schwingungszahl  $am - bn$  haben müssen.

Um sich vom Einflusse der Obertöne frei zu machen, und wo möglich regelmäsigere Resultate zu erhalten, schien es mir daher nothwendig zu seyn, wie auch G. S. Ohm schon vorgeschlagen hatte, die Combination solcher Töne zu beobachten, welche keine Obertöne haben. Es entstand also zunächst die Aufgabe, dergleichen Töne herzustellen, welche wir im Gegensatze zu den zusammengesetzten, von Obertönen begleiteten Tönen der gewöhnlichen musikalischen Instrumente *einfache Töne* nennen wollen.

Wir wollen im Laufe dieses Aufsatzes eine solche vibrirende Bewegung eines elastischen Körpers, bei welcher die Entfernung eines jeden schwingenden Theilchens von der Gleichgewichtslage als Function der Zeit ausgedrückt wird, durch ein einziges Glied von der Form

$$A \sin(2\pi mt + c),$$

eine *einfache Schwingungsbewegung* nennen, und wenn die Schwingungen sich durch ein elastisches Mittel fortpflanzen, eine *einfache Wellenbewegung*. So sind zum Beispiel die Aetherschwingungen, welche dem homogenen Lichte einer

1) S. Ohm in diesen Ann. Bd. XLVII, S. 463.

einfachen Farbe angehören, solche einfache Wellenbewegungen. Eine jede andere schwingende Bewegung dagegen, bei welcher die Elongationen der schwingenden Theilchen andere periodische Functionen der Zeit sind, und daher nicht durch ein einziges Glied von der Form  $A \sin(2\pi m t + c)$ , sondern nur durch eine Summe solcher Glieder dargestellt werden können, nennen wir *zusammengesetzte Schwingungs- oder Wellenbewegungen*. Da nun die Erfahrung lehrt, daß überall, wo die mathematisch-mechanische Untersuchung zusammengesetzte Wellenbewegungen nachweist, ein geübtes Ohr Töne unterscheiden kann, welche den darin enthaltenen einfachen Wellenbewegungen entsprechen, so verwandelt sich unsere Aufgabe in diejenige, einfache Wellenbewegungen in der Luft hervorzubringen.

Da alle tönenden elastischen Körper mehrfache Schwingungsformen annehmen können, wobei sie Töne verschiedener Höhe hervorbringen, und es im Allgemeinen nicht möglich ist, dem tönenden Körper einen solchen Anstoß zur Bewegung beizubringen, daß er sich nur in einer einzigen dieser Formen bewegt, so mußte zur Lösung der gestellten Aufgabe ein mehr mittelbarer Weg eingeschlagen werden, wobei ich folgendem Princip folgte. Nehmen wir an, wir hätten zwei elastische Körper, welche in Schwingung versetzt, gleichen Grundton haben; der eine, der Tonerreger, möge, wenn er in Schwingung versetzt ist, seine Schwingungen möglichst wenig an die Luft abgeben, der andere, der Resonator, welcher von dem ersteren in Mitschwingung versetzt wird, sey dagegen so eingerichtet, daß er seine Schwingungen leicht und stark der Luft mittheile. Während der Grundton beider Körper genau gleich ist, seyen sämtliche höheren Nebentöne des einen von denen des andern verschieden. Bringt man nun den Tonerreger in Schwingung, so tönt der Resonator mit, aber nur in denjenigen Tönen, welche beiden gemeinsam sind. Ist also nur der Grundton gemeinsam, so wird der Resonator nur von diesem erregt werden, und nur die Schwingungen des Grundtons der Luft mittheilen.

Stimmgabeln, die man in der Hand hält, haben ganz die Eigenschaften, welche wir von unserem Tonerreger verlangen. Als Resonator habe ich theils die Saite eines Monochordes, theils Lufträume gebraucht. Durch die letzteren erhielt ich einen stärkeren Ton, und habe sie deshalb namentlich für die Versuche über Combinationstöne gebraucht. Dagegen erwies sich eine eigenthümliche Verbindung der Stimmgabeln mit dem Monochord, als ein besonders brauchbares Mittel, um die Lage der höheren Nebentöne der Stimmgabeln zu bestimmen. Da die Untersuchung der letzteren den übrigen Versuchen vorausgehen mußte, beginne ich mit ihr.

Den Stimmgabeln, welche ich zu diesen Versuchen gebrauchte, gab ich am Ende ihres Stieles eine sattelförmige Fläche, die nach einer Richtung concav, nach der anderen convex war. Wenn man eine Gabel mit dieser Fläche auf eine gespannte Saite setzt, so berührt sie die Saite in einem Punkte, und kann nicht leicht seitlich abgleiten, während man sie längs der Saite hin und herschiebt. Uebrigens wurde noch der Stiel jeder Stimmgabel in ein Holzklötzchen befestigt, aus welchem unten nur die Spitze des Stiels mit der sattelförmigen Fläche hervorsah, und welches dazu diente, die Gabel zu fassen, ohne sie durch Berührung mit den Fingern zu erwärmen.

Wenn man eine solche Gabel anschlägt, und auf die Saite eines Monochordes setzt, so hört man im Allgemeinen den Ton der Gabel kaum vernehmbar ertönen, wenn nicht eine der Abtheilungen der Saite zwischen dem Berührungspunkte der Gabel und einem der Befestigungspunkte genau einen der Gabeltöne zum Grundton oder Oberton hat. Verschiebt man also die Gabel längs der Saite, bis man sich der Stelle nähert, wo die Saite abzugrenzen wäre, um den Grundton der Gabel zu geben, so hört man mit einmal diesen Grundton laut anschwellen, und sowie man die Stelle überschreitet, den Ton ebenso schnell wieder verschwinden. Die Breite der Stelle, welche das Maximum der Resonanz giebt, ist sehr klein, noch nicht

$\frac{1}{2}$  Millimeter breit, so daß man die entsprechenden Saitenlängen mit großer Genauigkeit bestimmen kann, namentlich wenn man die Stimmgabel nicht am Ende der einfachen Saitenlänge ihres Grundtons, sondern am Ende der vierfachen oder sechsfachen Saitenlänge desselben aufsetzt. Man bekommt nämlich dieselbe starke Resonanz des Grundtons, wenn die durch die Stimmgabel abgegränzte Saitenlänge ein Multiplum von der des Grundtons ist. Bequem ist es bei solchen Versuchen zwischen dem einen Endpunkte der Saite und der Stimmgabel eine Dämpfung anzubringen, indem man ein zusammengelegtes Tuch zwischen die Saite und den Resonanzboden einschiebt; dann kann nur die andere Abtheilung der Saite tönende Schwingungen geben.

Hat man dann die Saite zur Resonanz gebracht, und legt auf ihre tönende Abtheilung den Finger, so verschwindet der Ton augenblicklich, bis auf einen sehr kleinen Rest, der durch Längsschwingungen der Saite zu entstehen scheint, und der hörbar bleibt, an welcher Stelle der Saite man die Gabel auch aufsetzen möge, übrigens desto schwächer ist, je glatter die sich berührenden Oberflächen der Saite und Gabel sind.

Zwischen den Punkten der Saite, wo der Grundton der Stimmgabel hörbar wird, findet man leicht andere heraus, wo die höheren Nebentöne der Gabel resoniren. Da diese kräftig ertönen, während der Grundton kaum vernommen wird, ist es leicht, auch verhältnißmäßig schwache Obertöne wahrzunehmen. Ausser den schon von Chladni untersuchten sehr hohen Nebentönen der Stimmgabeln, welche durch Bildung von mehrfachen Knotenstellen an der Gabel entstehen, habe ich aber auch an allen von mir untersuchten Gabeln immer die schon von Roeder <sup>1)</sup> gehörte genaue Octave des Grundtons, wenn auch schwach gefunden.

So fand ich bei einer Gabel, welche den Ton *b* gab, folgende Saitenlängen, bei welchen die Saite am stärksten in Mitschwingung versetzt wurde:

1) Repertorium der Physik Bd. III, S. 55.

1. Gabel *b*.

Ton <i>b</i>	Ton <i>b</i> <sub>1</sub>	Ton <i>g</i> <sub>3</sub>
251	125,5	38
500	376,5	76
Mittel 250,66	125,5	114
		151,5
		227
		302
		377
		37,81.

Bei vier anderen Gabeln, welche mit Hülfe der Schwebungen als genaue große Terz, Quinte, Octave und große Septime zu der eben genannten Gabel *b* gestimmt waren, fand ich folgende Saitenlängen.

2. Gabel *d*<sub>1</sub>.Ton *d*<sub>1</sub>: 200Ton *d*<sub>2</sub>: 100Ton *a*<sub>is</sub><sub>3</sub>: 31,93. Gabel *f*<sub>1</sub>.Ton *f*<sub>1</sub>: 166,3Ton *f*<sub>2</sub>: 83,5Ton *c*<sub>is</sub><sub>4</sub>: 26,74. Gabel *b*<sub>1</sub>.Ton *b*<sub>1</sub>: 125,3Ton *b*<sub>2</sub>: 62,7Ton *f*<sub>4</sub>: 21,045. Gabel *a*<sub>1</sub>.Ton *a*<sub>1</sub>: 133Ton *a*<sub>2</sub>: 66,5Ton *e*<sub>s</sub><sub>4</sub>: 23.

Der dritte bei jeder Gabel angegebene Ton entspricht dem ersten höheren Nebenton in Chladni's Beobachtungen, bei welchem die Gabel vier Schwingungsknoten zeigt. Sein Verhältniß zum Grundton der Gabel, dem zwei Schwin-

gungsknoten zukommen, ist nach Chladni  $6\frac{1}{4}$ ; in den eben angeführten Beobachtungen schwankt es zwischen  $5\frac{2}{3}$  und  $6\frac{2}{3}$ . Wegen der hohen Lage und unharmonischen Beschaffenheit dieses Tones ist sein Einfluß bei den Versuchen über Combinationstöne meistentheils nicht zu fürchten.

Viel wichtiger ist der zweite Ton, welcher stets genau der Octave des Grundtons entspricht. Er befindet sich nicht unter den von Chladni beobachteten Tönen, welche durch Streichen mit dem Violinbogen von ihm auf der Gabel erzeugt wurden, scheint auch mit Henrici's <sup>1)</sup> schwachen Nebentönen zweiter Art nicht identisch zu seyn, da diese einen bis zwei Töne höher sind als die Octave des Grundtons. Davon, daß die höhere Octave des Grundtons nicht bloß durch die besondere Methode der Beobachtung, etwa als eine Art Klirrton an der Berührungsstelle der Gabel mit der Saite erzeugt wird, kann man sich überzeugen, wenn man die Gabeln vor der Mündung einer Resonanzröhre tönen läßt, deren eigener Ton die höhere Octave des Grundtons der Gabel ist. Man hört dann, wenn die Gabel stark angeschlagen ist, diese Octave ganz deutlich.

Uebrigens hat auch A. Seebeck <sup>2)</sup> ähnliche Beobachtungen gemacht, aus denen hervorgeht, daß harmonische Obertöne auch bei Glocken und Stimmungsgabeln vorkommen, wo man der Theorie nach nur unharmonische erwarten sollte. Er fand, daß der Ton  $d_1$  eines gläsernen Pokals den Ton  $d_2$  einer Saite zum Mitschwingen brachte, und  $a_1$  einer Stimmungsgabel  $a_2$  einer Saite. Ich glaube, daß der Grund dieser Erscheinung darin zu suchen ist, daß die Schwingungen der betreffenden elastischen Körper bei diesen Versuchen die Gränze überschreiten, innerhalb deren die elastischen Kräfte den Elongationen proportional sind.

1) Diese Annalen Bd. LVIII, S. 265. Uebrigens scheint bei Henrici leider ein Irrthum in der Bezeichnung der Töne vorgekommen zu seyn, da das Verhältniß des ersten zu unserm dritten Tone bei ihm nur 2,7 bis 3, die Hälfte des wahren ist.

2) Repertorium der Physik, Bd. VIII, S. 69.

Dafs dadurch harmonische Obertöne entstehen müssen, läßt sich theoretisch durch eine ähnliche mathematische Entwicklung, wie wir sie später für die Theorie der Combinationstöne geben werden, zeigen. Dafs übrigens die Schwingungen einer stark angeschlagenen Gabel die bezeichnete Gränze wirklich überschreiten können, geht auch aus der von mehreren Beobachtern gemachten Wahrnehmung hervor, wonach auch die Tonhöhe der Gabel, während sie verklingt, sich merklich ändert. Es wird also auch der Isochronismus der Schwingungen bei starkem Anschlagen merklich gestört, und das kann nur geschehen, wenn bei starken Schwingungen die elastischen Kräfte den Elongationen nicht mehr genau proportional sind.

Wenn wir nun eine Stimmgabel an einer solchen Stelle auf eine Saite aufsetzen, wo diese in dem Grundtone der Gabel mitschwingt, so werden allerdings die höheren unharmonischen Töne der Gabel das Mitschwingen der Saite nicht erregen, und nicht auf deren Resonanzboden und die umgebende Luftmasse übertragen werden, wohl aber die höhere Octave des Grundtons. Um diese auszuschließen muß man der Saite selbst unharmonische Obertöne geben, was sehr leicht zu bewirken ist, dadurch, dafs man in der Mitte des mitschwingenden Saitenstücks eine kleine Belastung anbringt. Wenn  $L$  die Saitenlänge ist, welche den Grundton der Stimmgabel giebt, so braucht man nur in der Entfernung von etwa  $\frac{1}{3}$  Lin. vom Ende der Saite als Belastung derselben ein Tröpfchen Siegelack auf ihr zu befestigen. Man wird dann finden, dafs die Saitenlänge, welche den Grundton der Stimmgabel giebt, jetzt beträchtlich kleiner geworden ist, und dafs außerdem der zweite Erregungspunkt der höheren Octaven des Grundtons, der ursprünglich mit dem ersten Erregungspunkte des Grundtons selbst zusammenfiel, jetzt von diesem getrennt ist. Wenn man also die Gabel nun in dem letzteren Punkte aufsetzt, erregt man nur den Grundton und nicht mehr gleichzeitig dessen höhere Octave<sup>1)</sup>.

1) Die Theorie der Bewegung beschwerter Saiten siehe bei Duhamel,



Um bei der Ausführung der Versuche die Gabeln nicht immer in der Hand halten zu müssen, ohne sie doch mit einem schalleitenden Körper in Berührung zu bringen, ist es am besten, wenn man sie an der Saite aufhängt. Zu dem Ende stelle ich das Monochord so auf, daß die Saiten nach unten gekehrt sind. In der Mitte der Saite wird ein Häkchen fest angekittet, an welches die Gabel, nachdem sie angeschlagen ist, gehängt werden kann. Auf der einen Seite des Häkchens dämpft man die Saite durch ein untergeschobenes Tuch; auf der anderen Seite wird das Siegelacktröpfchen, und weiterhin ein beweglicher Steg angebracht, den man so lange verschiebt, bis man das Maximum der Stromstärke erhält.

Man erhält auf diese Weise ziemlich laute und lang anhaltende reine Töne, welche verschwinden, so wie man die Saite zwischen der Gabel und dem Stege mit dem Finger berührt und dadurch ihre Querschwingungen dämpft. Die Klangfarbe dieser einfachen Töne ist im Ganzen der der Stimmgabeltöne ähnlich, nur etwas dumpfer, dem *U* ähnlich, und wenn man ihre Höhe an einem Claviere zu bestimmen sucht, wird man leicht verleitet, sie eine Octave tiefer zu suchen, als sie wirklich liegen.

Eine zweite Methode, den Grundton der Stimmgabeln mit Auschluss ihrer Obertöne der Luft mitzutheilen, beruht auf der Wirkung resonirender Röhren. Die Röhren, welche ich anwendete, waren aus Pappe verfertigt, cylindrisch, an beiden Enden durch einen ebenen Boden geschlossen, von denen der eine in der Mitte eine runde

*Compt. rend. XI, 15 und 810. (Diese Annalen LVII. 392 u. 397.)* Seebeck im Repertorium der Physik VIII. 33 giebt auch die Gleichung für die Höhe der Töne. Es sey *M* die Masse der Belastung, *m* die der Saite, *l*, und *l<sub>n</sub>* die Länge ihrer beiden Stücke, in welche sie durch die Belastung getheilt wird, *L* die Länge einer unbelasteten Saite von gleicher Art und Spannung, deren Grundton dem betreffenden Tone der beschwerten Saite gleich ist, so wird *L* gegeben durch die transcendente Gleichung:

$$\cotang \frac{\alpha l}{L} + \cotang \frac{\alpha l_n}{L} = \frac{\alpha M(l + l_n)}{m L}.$$

Oeffnung besafs. Ich gebe hier folgend ihre Maafse in Centimetern an, und die Töne, welche ich erhalten konnte, indem ich durch eine enge Röhre gegen ihre Mündung blies.

Gehörig zur Gabel.	Länge.	Durchmesser		Töne.
		der Röhre.	der Oeffnung.	
<i>b</i>	17,3	5,3	1,1	<i>b</i> , <i>des</i> <sub>3</sub>
<i>d</i> <sub>1</sub>	17,1	4,0	1,0	<i>d</i> <sub>1</sub> , <i>des</i> <sub>3</sub> , <i>h</i> <sub>3</sub>
<i>f</i> <sub>1</sub>	14,3	4,0	1,1	<i>f</i> <sub>1</sub> , <i>e</i> <sub>3</sub>
<i>b</i> <sub>1</sub>	13,2	4,1	1,8	<i>b</i> <sub>1</sub> , <i>fis</i> <sub>3</sub>

Da die Mündungen dieser Röhren keine scharfen Ränder hatten, war das Anblasen schwierig, und es gelang mir deshalb nur bei einer von ihnen den dritten Ton zu erhalten. Um die Lage dieses Tons in noch anderen Fällen zu bestimmen, verfertigte ich mir noch eine Röhre von ähnlicher Gestalt, die durch Ausziehen eines hölzernen Stempels verlängert werden konnte, und deren Mündung einen scharfen Rand hatte, so daß das Anblasen leichter war. Sie hatte 3,8 Centimeter, ihre Oeffnung 1 Centimeter Durchmesser und konnte bis auf 28,5 Centimeter verlängert werden. Auch hier konnte ich nur bei den niederen Tönen den zweiten Oberton durch stärkeres Anblasen erreichen.

Länge der Röhre.	Töne.		
26	<i>c</i> <sub>1</sub>	<i>gis</i> <sub>2</sub>	<i>fis</i> <sub>3</sub>
22	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>ais</i> <sub>2</sub>	<i>gis</i> <sub>3</sub>
17	<i>f</i> <sub>1</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>cis</i> <sub>4</sub>

Das Verhältniß des zweiten zum dritten Tone ist in allen diesen Fällen das einer kleinen oder großen Septime, und wir dürfen ihn deshalb wohl in den Fällen, wo er nicht durch Anblasen hervorgebracht werden konnte, nach diesem Verhältnisse ergänzen.

Ich stelle jetzt die verschiedenen Töne, welche die zusammengehörigen Röhren und Gabeln geben, unter einander, wobei die nicht direct beobachteten Obertöne eingeklammert sind:

1) Gabel:  $b, b_1$   $g_3$   
Röhre:  $b$   $des_3$   $(h_3)$

2) Gabel:  $d_1, d_2$   $ais_3$   
Röhre:  $d_1$   $des_3$   $h_3$

3) Gabel:  $f_1, f_2$   $cis_4$   
Röhre:  $f_1$   $e_3$   $(d_4)$

4) Gabel:  $b_1, b_2$   $f_4$   
Röhre:  $b_1$   $fis_3$   $(e_4)$

5) Gabel:  $a_1, a_2$   $dis_4$   
Röhre:  $a_1$   $fis_3$   $e_4$

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die ersten Obertöne der Gabeln, welche die höhere Octave des Grundtons bilden, durch die Resonanz der Röhren nicht verstärkt werden können. Dagegen kommen die zweiten Obertöne der Gabeln und Röhren sich einige Male ziemlich nahe. Indessen ergab der Versuch, daß die Uebereinstimmung doch nicht groß genug war, um eine wesentliche Verstärkung jener Obertöne durch die Resonanz der Röhren zu bedingen, in denen sich wahrscheinlich die durch Anblasen schwer zu erzeugenden Töne überhaupt schwer bilden. Wenn man die Gabeln mit einem harten Körper anschlägt, hört man die höheren Obertöne, welche einer vermehrten Zahl von Knoten entsprechen, deutlich neben dem Grundtone; doch verklingen sie schnell. Bringt man dann die Gabel vor die Mündung ihrer Resonanzröhre, so schwillt ihr Grundton mächtig an, während keine Verstärkung des höheren Tones wahrzunehmen ist.

Insbesondere überzeugte ich mich noch, daß die Röhren nicht im Stande sind die Octave ihres Grundtons durch Resonanz zu verstärken. Wenn ich die Gabel  $b_1$  vor die

Oeffnung der Röhre  $b$  hielt, war nicht die geringste Verstärkung des Tones zu bemerken. Dagegen verstärkten die Röhren die Töne, welche von ihrem Grundton um einen halben oder ganzen Ton abwichen, noch ziemlich bedeutend. Die Röhre für  $b_1$  war eben so gut für  $a_1$  zu gebrauchen, und selbst  $as_1$  wurde noch beträchtlich dadurch verstärkt.

Da die Resonanz der Röhren einen merklich stärkeren Ton gab, als die der Saiten, und die Gabeln in ihrer Verbindung mit den Röhren auch leichter zu handhaben waren, habe ich die meisten Versuche über Combinationstöne mit den Röhren angestellt.

Bei den Versuchen muß man darauf achten, daß die schwingenden Stimmgabeln nirgends Klirren erregen. Am besten hält man sie in den Händen. Will man sie fest hinstellen, so müssen sie in einer hölzernen Unterlage durch stark angezogene Schrauben befestigt seyn, und diese muß auf Leder oder einer dicken Lage Papier stehen, nicht auf dem bloßen Tische. Die klirrenden Töne, welche entstehen, wenn die Gabeln nicht ganz fest in ihrer hölzernen Unterlage sitzen, oder diese lose auf dem Tische steht, werden offenbar durch kleine Stöße der betreffenden Körper gegen einander hervorgebracht, welche den Schwingungen der Gabel meist isochron sind. Daher ist der Klirrtöne meist gleich hoch, wie der Gabelton (zuweilen tiefer), aber da er nicht durch eine einfache Sinusbewegung hervorgebracht wird, hat er stark hervortretende Obertöne, welche ihm seinen spitzen Klang zu geben scheinen. Eben dieser Obertöne wegen, muß das Klirren vermieden werden.

Mittels der mehrfach angeführten Gabeln und einer sechsten, deren Schwingungszahl zu der des  $b$  im Verhältniß von 7 zu 4 stand, die also ein etwas tiefes  $as_1$  gab und die ich durch aufgeklebte Wachsklumpchen bis auf  $g_1$  erniedrigen konnte, waren folgende Combinationen von Tönen herzustellen, die ich hier folgend mit dem dabei gehörten Combinationstöne angebe.

Primäre Töne.		Combinationston.	Schwingungsverhältniß	
			der primären Töne zu einander	des Combinationstons.
<i>b</i>	<i>f</i> <sub>1</sub>	<i>B</i>	2 : 3	1
<i>f</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>B</i>	3 : 4	1
<i>b</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>B</i> <sub>-1</sub>	4 : 5	1
<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>f</i> <sub>1</sub>	<i>B</i> <sub>-1</sub>	5 : 6	1
<i>f</i> <sub>1</sub>	<i>as</i> <sub>1</sub>	<i>B</i> <sub>-1</sub>	6 : 7	1
<i>as</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>B</i> <sub>-1</sub>	7 : 8	1
<i>b</i>	<i>g</i> <sub>1</sub>	<i>es</i>	3 : 5	2
<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>as</i> <sub>1</sub>	<i>B</i>	5 : 7	2
<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>f</i>	5 : 8	3
<i>b</i>	<i>as</i> <sub>1</sub>	<i>f</i>	4 : 7	3

Ich war in allen diesen Fällen nicht im Stande, durch das Gehör das Vorhandenseyn anderer Combinationstöne zu erkennen, welche tiefer gewesen wären, als die primären Töne, während ich andererseits bei je zwei Tönen von Orgelpfeifen, oder der Sirene oder der Violine sehr wohl im Stande war, Combinationstöne zweiter Ordnung wahrzunehmen. Indessen habe ich bei Orgelpfeifen und bei der Sirene kein Beispiel gefunden, wo nicht der Combinationston erster Ordnung bei Weitem der deutlichste gewesen wäre. Als Beispiele solcher Combinationstöne zweiter Ordnung, die ich hörte, führe ich an:

Neben den Tönen 4 und 5 den Ton 3=2.4—5.

Neben den Tönen 5 und 7 den Ton 3=2.5—7.

Neben den Tönen 5 und 8 den Ton 2=2.5—8.

Neben den Tönen 3 und 5 den Ton 1=2.3—5.

Die Violine, welche Tartini und Hällström anwendeten, scheint mir nach meinen eigenen Erfahrungen viel weniger zu den Untersuchungen über Combinationstöne geeignet zu seyn als die Orgelpfeifen und die Sirene. Ich hatte allerdings nur Gelegenheit, die Hülfe dilettirender Violinspieler in Anspruch zu nehmen, und kann daher nicht beurtheilen, ob eine künstlerische Vollendung der Bogenführung andere Resultate geben möchte. Die Combinationstöne

töne waren dabei in einer eigenthümlichen Weise inconstant, hörten sich heulend an, indem sie bald etwas höher, bald etwas tiefer wurden, was namentlich dann sehr entschieden der Fall war, wenn nicht zwei ganze Saiten angestrichen wurden, sondern eine derselben an das Griffbrett gedrückt und verkürzt wurde. Ausserdem pflegten auch schnell hinter einander verschiedene Combinationstöne zu wechseln. Der Grund davon liegt wohl darin, daß durch den Bogen die Saite nicht ganz gleichmäfsig bewegt wird, sondern fortdauernd die Form ihrer Schwingung wechselt, so daß ihre Obertöne in Bezug auf Stärke und auf die Gleichzeitigkeit oder Ungleichzeitigkeit ihrer Wellenberge und Wellenthäler vielfach variiren, so daß die verschiedenen Combinationstöne des Grundtons und seiner Obertöne sich bald gegenseitig verstärken, bald durch Interferenz aufheben, und deshalb bald der eine bald der andere Combinationston stärker hervortritt. Was das Heulen des Combinationstons betrifft, so muß man bedenken, daß wenn die primären Töne nahe bei einander liegen, außerordentlich kleine Schwankungen ihrer Höhe sehr merklich die Höhe des Combinationstons verändern können. Geben doch schon die Terzen, welche nach der gleichschwebenden Temperatur gestimmt sind, Combinationstöne, welche um einen halben Ton verändert sind. Das Verhältniß des  $c_1$  zum  $e_1$  in der reinen Temperatur ist 100 : 125, in der gleichschwebenden 100 : 126. Ersteres giebt den Combinationston  $C$  von 25 Schwingungen, letzteres einen Ton von 26 Schwingungen. Das Verhältniß dieser beiden Combinationstöne ist also nahe gleich dem eines kleinen halben Tons 24 : 25. Statt  $C$  erhalten wir daher bei der Stimmung nach gleichschwebender Temperatur nahehin  $Cis$ , und, wenn wir  $e_1$  und  $g_1$  angeben, statt desselben  $C$  vielmehr  $H_{-1}$ . Bei einem Instrumente mit starken, gleichmäfsig anhaltenden Tönen, z. B. einer Physharmonika, welches nach gleichschwebender Temperatur gestimmt ist, bilden deshalb auch diese Combinationstöne für den, der darauf zu achten gewöhnt ist, eine unangenehme Störung der Harmonie.

Wir entnehmen aus den angeführten Thatsachen das Resultat, daß das menschliche Ohr Hüllström's Combinationstöne zweiter Ordnung bei einfachen Tönen von der Stärke, wie sie unsere mit Resonanzröhren versehenen Stimmgabeln geben, nicht zu erkennen vermag, wohl aber bei solchen Tönen gleicher Stärke, welche, wie die der Orgelpfeifen, Sirenen, Violinen mit Obertönen verbunden sind. Wir dürfen daraus wohl den Schluss ziehen, daß wenn wir bei Tönen mittlerer Stärke Combinationstöne zweiter oder höherer Ordnung deutlich hören, diese durch die höheren Nebentöne der primären Töne erzeugt sind.

Andrerseits ist noch eine Erscheinung zu erwähnen, aus der wir vielleicht schliessen müssen, daß auch bei den einfachen Tönen, wenn auch außerordentlich schwach, Combinationstöne höherer Ordnung vorkommen. Es sind dies die von Scheibler und Roeder untersuchten Schwebungen, welche bei nicht ganz reinen Consonanzen hörbar sind. Die Schwebungen sind in der That ein Mittel, durch welches man die Gegenwart sehr schwacher Töne oft besser erkennt als durch das Ohr.

Um das Intervall  $bb_1$  meiner Stimmgabeln zu prüfen, habe ich mir eine Hüllsgabel gestimmt, welche vier Schwingungen weniger als  $b_1$  in der Sekunde macht. Lasse ich die Gabel  $b_1$  vor ihrer Resonanzröhre verklingen, und nähere der Röhre von Zeit zu Zeit die angeschlagene Hüllsgabel, so höre ich die Schwebungen noch zu einer Zeit, wo ich von dem Tone der verklingenden Gabel ohne dieses Hilfsmittel nichts mehr wahrnehmen kann. Wenn wir wie beim Lichte die Intensität des Schalls nach dem Quadrate der Schwingungsweite bestimmen, muß in der That, wo zwei Schallwellenzüge von gleicher Stärke mit gleichen Phasen zusammen kommen, die Schwingungsweite verdoppelt, die Intensität vervierfacht werden. Wo entgegengesetzte Phasen zusammenfallen, wird die Intensität gleich Null. Nähern wir also die Hüllsgabel der Resonanzröhre so weit, daß der Schall beider Gabeln die gleiche Stärke welche wir 1 nennen wollen, bekommt, so wechselt die In-



tensität des Tons zwischen 0 und 4, und dieser Wechsel kann also noch sehr wohl wahrnehmbar seyn, während die Intensität 1 schon nicht mehr wahrgenommen wird. Scheibler hat nun bekanntlich nachgewiesen, daß die Zahl der Schwebungen, welche unrein gestimmte Octaven, Quinten, Quarten und Terzen geben, genau berechnet werden kann aus der Annahme, daß dabei Combinationstöne verschiedener Ordnung von nahe gleicher Höhe mit einander interferiren. Läßt man diese Erklärungsweise von Scheibler zu, so würden die Schwebungen die Anwesenheit von Combinationstönen verrathen können, welche zu schwach sind, um ohne ihre Hülfe wahrgenommen zu werden. Ich habe deshalb Versuche über diese Schwebungen an den mit Resonanzröhren versehenen Gabeln gemacht. Verstimmen kann man sie leicht in beliebigem Grade, indem man Klümpchen Wachs an ihre Zinken klebt. So konnte ich die Schwebungen zweier Gabeln hören, welche eine schwach verstimmte Octave, Quinte, Quarte oder große Terz bilden. Aber während sie bei der Octave leicht und deutlich hörbar waren, zeigten sie sich bei jedem folgenden Intervalle schwächer und waren schon bei der großen Terz nur sehr schwer zu hören. Bei der kleinen Terz konnte ich die Schwebungen nicht mehr mit Bestimmtheit erkennen, ebenso wenig bei der kleinen Sexte.

Bei der unreinen Octave, deren Töne die Schwingungszahlen  $\lambda$  und  $2\lambda + \delta$  haben mögen, ist es nach der Erklärung von Scheibler der Combinationston erster Ordnung  $\lambda + \delta$ , welcher mit dem Grundton  $\lambda$  Schwebungen von der Zahl  $\delta$  hervorbringt.

Bei der unreinen Quinte,  $2\lambda$  und  $3\lambda + \delta$ , ist es ein Combinationston erster Ordnung  $\lambda + \delta$ , welcher mit einem der zweiten Ordnung  $2 \cdot (2\lambda) - (3\lambda + \delta) = \lambda - \delta$  Schwebungen von der Zahl  $2\delta$  hervorbringt.

Bei der unreinen Quarte  $3\lambda$  und  $4\lambda + \delta$  ist es ein Combinationston zweiter Ordnung  $2(3\lambda) - (4\lambda + \delta) = 2\lambda - \delta$  und ein solcher dritter Ordnung  $2(4\lambda + \delta) - 2(3\lambda) = 2\lambda + 2\delta$  welche  $3\delta$  Schwebungen hervorbringen.

Bei der unreinen grossen Terz endlich  $4\lambda$  und  $5\lambda + \delta$  ist es ein Combinationston dritter Ordnung  $2(5\lambda + \delta) - 2(4\lambda) = 2\lambda + 2\delta$ , und ein solcher vierter Ordnung  $3(4\lambda) - 2(5\lambda + \delta) = 2\lambda - 2\delta$ , welche mit einander  $4\delta$  Schwebungen geben.

Auch Scheibler hat wahrgenommen, daß die Schwebungen desto schwächer werden, einer je höheren Ordnung die Combinationstöne angehören, durch welche sie entstehen. Seiner Theorie gemäß müßten also Combinationstöne bis zur vierten Ordnung auch von einfachen Tönen erzeugt werden können. Scheibler hatte für seine Theorie nur die eine Bestätigung, welche in der genauen Uebereinstimmung der berechneten Zahl der Schwebungen mit der beobachteten lag. Ich hoffte noch eine zweite Bestätigung seiner Theorie gewinnen zu können, wenn ich auf die Höhe der als schwebend wahrgenommenen Töne achtete. In der That glaubte ich in allen Fällen die Töne schwebend zu hören, welche Scheibler's Theorie fordert, namentlich im Falle der unreinen Quarte  $f_1, b_1$ , den Combinationston zweiter Ordnung  $b$ , im Falle der unreinen grossen Terz den Ton dritter Ordnung  $B$  mittels der Schwebungen wahrzunehmen. Doch stehe ich an, mich in diesem Falle auf die Aussagen meines Ohres fest zu verlassen, da es sehr schwierig ist, bei so außerordentlich schwachen Tönen, die Octave, in der der Ton liegt, sicher zu bestimmen. Uebrigens lehrt auch eine vollständig durchgeführte Theorie dieser Schwebungen, daß nicht bloß die von Scheibler als schwebend berechneten Töne Wechsel ihrer Stärke zeigen müssen, sondern schwächere Schwebungen auch bei den übrigen Combinationstönen anderer Ordnungen eintreten müssen.

Auch dadurch, daß man dritte Töne daneben angiebt, kann man zuweilen Schwebungen hörbar machen, welche nicht durch Combinationstöne erster Ordnung, sondern nur durch solche höherer Ordnung erklärt werden können.

Wenn ich z. B. die einfachen Töne  $b$  und  $d_1$  angab, und dazu auf dem Clavier  $f$ , welches nicht genau mit den beiden vorigen consonirte, so hörte ich sehr deutlich so-

wohl den Ton  $B_{-1}$  als den Ton  $f$  Schwebungen machen. Die ersteren erklären sich dadurch, daß der erste Combinationston sowohl von  $f$  und  $b$ , wie von  $b$  und  $d_1$ ,  $B_{-1}$  ist, und wenn das letztere Intervall nicht ganz rein ist, die beiden Combinationstöne nicht ganz übereinstimmen können, folglich Schwebungen geben müssen. Mit dem Ton  $f$  fällt aber kein Combinationston erster Ordnung zusammen, selbst wenn man die höheren Nebentöne von  $f$  hinzunimmt, wohl aber ist  $f$  ein Combinationston zweiter Ordnung von  $b$  und  $d_1$ . Dieses  $f$  wird dadurch, daß man ein etwas verschiedenes  $f$  auf dem Claviere angiebt, und es dadurch in Schwebungen bringt, wahrnehmbar gemacht.

In derselben Weise konnte ich Schwebungen des zweiten Combinationstons  $b$  der kleinen Terz  $d_1 f_1$  hörbar machen, wenn ich dieß  $b$  auf dem Claviere angab. Daneben hörte man ebenfalls Schwebungen des  $B_{-1}$ .

Eben so konnte ich deutlich die Schwebungen des  $f$  hören, wenn ich das  $b_1$  der Stimmgabeln durch aufgeklebtes Wachs verstimmte, und nun zunächst  $b$  und  $b_1$ , beide gleichmäfsig stark, ertönen liefs. Unter diesen Umständen hört man die Schwebungen wenig, welche die unreine Octave sonst deutlich hören läfst, wenn der tiefere Ton an Stärke überwiegt. Sobald man aber zu den Tönen  $b$  und  $b_1$  noch  $d_1$  angiebt, hört man sehr deutlich das  $f$  schweben. Dieses  $f$  ist der erste Combinationston von  $d_1 b_1$  und der zweite von  $b d_1$ . Ein anderer erster Combinationston fällt damit nicht zusammen, der die Schwebungen verursachen könnte.

Wenn wir nun auch Scheibler's und Roeber's Theorie der Schwebungen, welche die Erscheinungen mit grofser Genauigkeit erklärt, als gültig betrachten, und aus dem Vorhandenseyn der entsprechenden Schwebungen schliessen, daß auch einfache Töne zur Bildung von Combinationstönen höherer Ordnung Veranlassung geben, so folgt daraus keineswegs, daß bei den Beobachtungen des blofsen Ohres, wo diese Töne nicht gehört werden konnten, ein Irrthum stattgefunden habe. Im Gegentheil, da die Schwe-

bungen, welche durch Combinationstöne höherer Ordnung veranlaßt werden, in allen diesen Fällen außerordentlich schwach sind, und andererseits die Schwebungen ein so sehr viel ferneres Mittel der Wahrnehmung eines Tones abgeben, wird dadurch vielmehr bestätigt, daß diese Combinationstöne durch das Ohr allein, namentlich neben anderen, sehr viel stärkeren Tönen, nicht wohl wahrgenommen werden konnten.

Als Resultat der bisherigen Untersuchung der tieferen Combinationstöne können wir aussprechen, daß *einfache Töne nur solche tiefere Combinationstöne deutlich hören lassen, deren Schwingungszahl gleich der Differenz der Schwingungszahlen der primären Töne ist, und daß, wenn Combinationstöne anderer Ordnung daneben existiren, diese zu schwach sind, um bei mäßiger Stärke der primären Töne dem Ohr hörbar zu werden. Wenn bei zusammengesetzten Tönen Combinationstöne höherer Ordnung oft sehr deutlich auftreten, müssen wir diese daher für Combinationstöne der höheren Beutöne erklären.*

## 2. Ueber eine neue Art höherer Combinationstöne.

Außer den bisher besprochenen Combinationstönen besteht noch eine zweite Klasse solcher Töne, welche, so viel ich finde, bisher noch niemals beobachtet worden zu seyn scheint, nämlich *Töne, deren Schwingungszahl gleich ist der Summe der primären Töne.* Ich werde diese neuen Töne mit dem Namen der *Summationstöne* bezeichnen, im Gegensatze zu den früher besprochenen und schon länger bekannten, welche wir *Differenzstöne* nennen können, weil ihre Schwingungszahl der Differenz der Schwingungszahlen der primären oder ihrer combinirten Töne niedriger Ordnung gleich ist. Ich wurde zuerst durch die theoretischen Entwicklungen, welche ich weiter unten geben werde, darauf aufmerksam, daß solche Töne existiren möchten, und versuchte sie an den mit Resonanzröhren versehenen Stimmgabeln zu hören. Das gelang mir auch, aber nur sehr schwierig, weil die Töne der Stimmgabeln nur eine

mässige Stärke haben, und da die Combinationstöne überhaupt bei grösserer Stärke der primären Töne deutlicher werden. Die Summationstöne sind nun schwächer als die Differenztöne erster Ordnung, und es gehört deshalb grosse Uebung und Aufmerksamkeit dazu, sie bei geringerer Stärke der primären Töne zu hören. Indessen gelang es mir doch mittels der Stimmgabeln folgende Töne dieser Art wahrzunehmen.

Primäre Töne.	Summationston.	Schwungsverhältnis	
		der primären Töne.	des Summationstones.
$b, f_1$	$d_2$	2 : 3	5
$f_1, b_1$	$as_2$	3 : 4	7
$b, d_1$	$c_2$	4 : 5	9

Viel leichter sind sie zu hören, wenn man stärkere Schallquellen anwendet, auch braucht man hierbei die Obertöne der primären Töne nicht zu fürchten. Einmal kann der Summationston mit keinem Oberton der primären Töne zusammenfallen, wenn nicht einer der primären Töne selbst ein Oberton des andern ist. Denn wenn  $m$  und  $n$  die Schwingungszahlen der primären Töne sind, so kann die Schwingungszahl des Summationstons  $m+n$  kein Multiplum von  $m$  oder  $n$  seyn, wenn nicht  $m$  selbst ein Multiplum von  $n$ , oder  $n$  ein solches von  $m$  ist. Zweitens ist auch keine Täuschung durch Differenztöne der höheren Obertöne zu fürchten, weil es leicht gelingt, die Summationstöne eben so stark oder stärker zu erhalten, als die ersten und stärksten Obertöne, so dass sie jedenfalls viel stärker werden als die Differenztöne dieser letzteren.

Recht gut hört man die Summationstöne bei Orgelpfeifen, namentlich, wenn man das Ohr den beiden Mundstücken der Pfeifen nähert. Man gebe erst den höheren der beiden Töne an, welche man combiniren will; indem man dann den tieferen auch beginnen lässt, hört man einen noch höheren, den Summationston hinzukommen. Auch die Physharmonika lässt die Summationstöne gut hören,

wenn man starken Wind giebt. Von allen aber die beste Gelegenheit gewährt die von Dove <sup>1)</sup> beschriebene mehrstimmige Sirene, an welcher die Combinationstöne überhaupt so laut hervortreten, wie an keinem andern Instrumente. An ihr sind auch die Summationstöne so laut und auffallend, daß sie gleichsam die Oberstimme des gehörten Accordes bilden, und sich auch ungeübten Ohren leicht bemerklich machen. Sie sind es auch, die die Accorde der Sirene häufig so rauh und mißstönend machen, weil sie meistens nicht in der Harmonie des Duraccords bleiben, wie dies bei den Differenztönen der consonirenden Intervalle gewöhnlich der Fall ist.

Der Summationston der Octave, *C* und *c*, ist die Quinte des höheren Tons *g*. Selbst in diesem Falle, wo der zweite Oberton des *C* mit dem Summationstone zusammenfällt, kann man sich überzeugen, daß ein Summationston da ist. Wenn man nämlich zuerst *C* angiebt, hört man anfangs schwach dessen zweiten Oberton *g*; sobald man nun aber daneben auch *c* angiebt, wird dieses *g* viel stärker als vorher, obgleich *c* keinen entsprechenden Oberton hat.

Neben der Quinte *CG* hört man, wie oben schon angegeben ist, die Decime des Grundtons, nämlich *e*. Es wird dadurch der Durdreiklang vollständig.

Zur großen Sexte *Ge* (3:5) kommt *c*<sub>1</sub> (8) die kleine Sexte des höheren Tons. Der Differenzton ist *C*; so wird auch hier durch die Combinationstöne der Duraccord ergänzt.

Zur Quarte *Gc* (3:4) kommt die etwas vertiefte kleine Septime *b* (7) des höheren Tones.

Zur großen Terz *CE* (4:5) kommt die None des Grundtons *d* (9), welche den Eindruck des Duraccordes schon erheblich stört, wenn sie deutlich gehört wird.

Zur kleinen Terz *EG* (5:6) kommt der Ton 11, welcher zwischen *f* und *fs* liegt, und die Harmonie in sehr unangenehmer Weise stört.

Einen eben so unangenehmen Mißklang giebt bei der

1) Diese Annalen Bd. LXXXII, S. 596.

kleinen Sexte *Ec* (5 und 8) der Summationston 13 zwischen *b* und *h*. Auf der mehrstimmigen Sirene, wo die Combinationstöne so stark hervortreten, sind deshalb die grofse und kleine Terz, die kleine Sexte und alle Accorde, in denen sie vorkommen, sehr misstönig, während die Octave, Quinte, Quarte und grofse Sexte einen sehr reinen Wohlklang geben, der durch die hinzukommenden die Harmonie ausfüllenden Combinationstöne noch gewinnt. Ich bemerke hierbei, dafs die bei der Quarte vorkommende etwas vertiefte kleine Septime, deren Schwingungszahl zu der des Grundtons im Verhältnifs von 7:4 steht, dem Ohre durchaus den Eindruck einer Consonanz macht.

Endlich war ich noch im Stande neben den bisher erwähnten Summationstönen bei der Sirene Summationstöne zweiter Ordnung schwach aber deutlich zu hören. Sind *p* und *q* die Schwingungszahlen der primären Töne, so ist die Schwingungszahl dieses zweiten Summationstons  $2p + q$ . Ich konnte wahrnehmen neben zwei Sirenentönen vom Schwingungsverhältnifs

$$2 \text{ zu } 3 \text{ den Ton } 2 \cdot 2 + 3 = 7 \text{ und}$$

$$" \quad " \quad 2 \cdot 3 + 2 = 8$$

$$3 \quad " \quad 4 \quad " \quad 2 \cdot 3 + 4 = 10$$

$$5 \quad " \quad 6 \quad " \quad 2 \cdot 5 + 6 = 16$$

$$4 \quad " \quad 5 \quad " \quad 2 \cdot 5 + 4 = 14.$$

In jedem dieser Fälle hätten zwei Töne dieser Art, wie bei der Quinte gehört werden müssen, nämlich neben den Tönen 10, 16 und 14 noch 11, 17 und 13. Indessen ist es schwer die Aufmerksamkeit auf einen schwachen Ton zu lenken, der ausserhalb der musikalischen Tonleiter liegt, und dessen Höhe man sich nicht durch Auffassung einer bestimmten musikalischen Relation zu den übrigen Tönen zu fixiren weifs. Ich glaubte mitunter einen Augenblick die unharmonischen Töne zu hören, aber das Ohr lenkte immer so schnell wieder auf die nahe liegenden harmonischen ein, dafs ich mich der Höhe der ersteren nicht bestimmt versichern konnte.



## 3. Theorie der Combinationstöne.

Die bisher von Chladni<sup>1)</sup>, Lagrange<sup>2)</sup>, Th. Young<sup>3)</sup>, Hällström und Roeber aufgestellten Ansichten über die Entstehung der Combinationstöne, obgleich sie sich in Einzelheiten unterscheiden, haben doch mehrere wesentliche Züge gemeinsam. Alle nehmen nämlich an, daß eine ungestörte Superposition der Wellensysteme, welche den gleichzeitig erklingenden primären Tönen angehören, in der Luft und den schallleitenden Körpern überhaupt stattfindet, d. h. daß bei gleichzeitig erklingenden Tönen die Bewegung jedes schwingenden Theilchens genau die Resultante derjenigen Bewegungen sey, welche jeder einzelne Ton für sich hervorrufen würde.

Wenn  $m$  und  $n$  zwei ganze Zahlen ohne gemeinschaftlichen Factor sind, und die Schwingungszahl des einen primären Tones  $mf$ , die des anderen  $nf$  ist, so wird die resultirende Luftbewegung periodisch, und die Zahl ihrer Perioden in der Sekunde wird gleich  $f$  seyn. Wir wissen nun, daß eine jede regelmäfsig wiederkehrende periodische Bewegung der Luft, wenn die Zahl  $f$  der gleichen Perioden in der Sekunde grofs genug ist, in dem Ohre im Allgemeinen die Empfindung der Töne von  $f$ ,  $2f$ ,  $3f$  u. s. w. Schwingungen, und zwar einiger oder aller von ihnen, hervorrufen kann. In der That gehören nun auch die Combinationstöne, welche man in einem solchen Falle hört, der Reihe der Töne von  $f$ ,  $2f$ ,  $3f$  u. s. w. Schwingungen an. Wenn es sich nun aber weiter darum handelte zu bestimmen, welche von diesen Tönen, und wie stark die einzelnen, wirklich in einem gegebenen Falle gehört werden, so würde man vor allen Dingen haben suchen müssen, die Frage zu entscheiden, nach welchem Gesetze sich das Ohr eine solche periodische Luftbewegung in einzelne, einzelnen Tonempfindungen entsprechende, Theile zerlegt. Indessen hat man sich bei den Untersuchungen über Combinations-

1) Akustik, Leipzig 1802, S. 207.

2) *Misc. taurin. T. I, p. 103 bis 105.*

3) *Philos. Transact. 1800, T. I, p. 130.*

töne meist mit unbestimmteren Vorstellungen über die Rolle, welche das Ohr dabei spielt, begnügt, und erst später ist diese Frage, wenn auch nicht mit specieller Beziehung auf die Combinationstöne, Gegenstand des Streites zwischen G. S. Ohm und A. Seebeck gewesen. Sie ist offenbar von fundamentaler Wichtigkeit für die ganze Lehre von den Gehörempfindungen, und gerade die Erscheinungen der Combinationstöne schienen wichtige Entscheidungspunkte abgeben zu können.

G. S. Ohm <sup>1)</sup> hat bekanntlich eine bestimmte Annahme über die Art, wie das Ohr die periodischen Luftbewegungen in einzelne Töne zerlegt, aufgestellt, eine Annahme, die stillschweigend wohl schon vor ihm von den meisten mathematischen Physikern, die akustische Probleme behandelten, gemacht worden war. Er nimmt nämlich an, daß das Ohr in seiner Empfindung die Luftbewegung genau eben so in einfache Schwingungsbewegungen (nach der oben S. 501 gegebenen Definition) zerlege, wie es der Mathematiker mittels der Sätze von Fourier in der Rechnung thut, und daß das Ohr den einer jeden solchen einfachen Schwingungsbewegung entsprechenden Ton hört. Dieses von Ohm ausgesprochene Gesetz scheint mir in der That die aller auffallendste Bestätigung zu erhalten durch die Genauigkeit, mit welcher ein geübtes Ohr die theoretisch geforderten Töne zu hören im Stande ist. Ein auffallendes Beispiel, welches schon Th. Young <sup>2)</sup> besprochen hat, giebt die Bewegung der Saiten, deren Gesetze gut genug bekannt sind, um sie vollständig berechnen zu können. Wenn man eine Saite mit einem spitzen Stift seitwärts zieht, und dann von der Spitze abgleiten läßt, so daß sie zu tönen anfängt, so kann man in dem Moment des Anfangs der Bewegung annehmen, daß die Geschwindigkeit aller Theile der Saite gleich Null ist, ihre Gestalt aber aus zwei geraden Linien besteht, die an der Berührungsstelle einen Winkel bilden. Daraus berechnet

1) Diese Annalen Bd. LIX, S. 513.

2) *Phil. Transact.* 1800, T. I, p. 137.

sich dann die ganze Bewegung der Saite nach bekannten Regeln. Ist  $l$  die Länge der Saite,  $T$  die Schwingungsdauer,  $y$  die Elongation des um  $x$  von der Mitte entfernten Punktes der Saite zur Zeit  $t$ , so ist

$$y = A \left\{ \cos. \frac{\pi x}{l} \sin. \frac{2\pi t}{T} + \frac{1}{9} \cos. \frac{3\pi x}{l} \sin. \frac{6\pi t}{T} + \frac{1}{25} \cos. \frac{5\pi x}{l} \sin. \frac{10\pi t}{T} + \text{etc.} \right\}.$$

Wenn der Grundton tief ist, hört ein etwas geübtes Ohr alle in dieser Reihe enthaltenen Obertöne selbst bis zum elften Tone der Saite, entsprechend dem Gliede

$$\frac{A}{121} \cos \frac{11\pi x}{l} \sin \frac{22\pi t}{T},$$

dessen Amplitude nur der 121ste Theil von der des Grundtons ist. Nehmen wir an, die letztere sey ein halber Zoll in der Mitte der Saite, was bei hörbaren Tönen vielleicht vorkommen kann, so würde die Amplitude des elften Tones  $\frac{1}{210}$  Linie, also dem Auge nicht mehr wahrnehmbar seyn. Das Ohr unterscheidet demnach in diesem Falle die kleinen Glieder, die in der Bewegung enthalten sind, genauer als das Auge. Man bedenke ferner, dafs es in diesem Falle gar keinen Sinn hat von einer Schwingung zu reden, deren Periode die Dauer von  $\frac{1}{11} T$  hat, außer insofern man die Bewegung in eine Fourier'sche Reihe auflöst. Denn in Wahrheit findet sich in der Gesamtbewegung der einzelnen Saitenpunkte nichts, was in  $\frac{1}{11}$  der Schwingungszeit periodisch wiederkehrt. Die Bewegung des Mittelpunktes der Saite wird nach Young als Function der Zeit durch eine Curve von der Form 1 dargestellt, die Bewegung



eines jeden anderen Punktes der Saite durch eine Curve ähnlich 2.



Erst wenn man die ersten neun Glieder der Fourier'schen Reihe von der Bewegung abgezogen hat, entsteht ein Rest der innerhalb einer Wellenlänge des Grundtons etwas von einer elfmaligen periodischen Wiederkehr ähnlicher Theile zeigt. Th. Young beweist ferner, daß wenn man die Saite in einem der Knotenpunkte ihrer Obertöne anschlägt, das diesem Obertöne entsprechende Glied der Fourier'schen Reihe wegfällt. In diesem Falle verschwindet auch dem Obre der entsprechende Oberton, was wenigstens nicht regelmäfsig der Fall seyn könnte, wenn etwa das Ohr die Gesamtbewegung der Luft in andere periodische Glieder als die der Fourier'schen Reihe zerlegte.

Gegen die Annahme von Ohm hat A. Seebeck <sup>1)</sup> einen Streit geführt, der leider durch den Tod der beiden ausgezeichneten Physiker beendet worden ist. Seine Einwände sind meist von der Schwierigkeit hergenommen, welche das Ohr findet, die theoretisch geforderten Obertöne wahrzunehmen, so wie davon, daß in vielen Fällen ein Ton durch Verstärkung seiner Obertöne stärker wird.

Indessen glaube ich, daß wenn man in diesem Falle genau unterscheidet, was der sinnlichen Empfindung des Hörnerven, und was der physischen Thätigkeit angehört, die von ihm gefundenen Schwierigkeiten verschwinden. Wir wissen, daß fast alle unsere Tonwerkzeuge zusammengesetzte Töne erzeugen, in denen der einfache Grundton immer mehr oder weniger stark von gewissen Obertönen begleitet ist, meist aber so, daß der Grundton an Stärke überwiegt. Wir beurtheilen deshalb auch die Höhe des ganzen zusammengesetzten Tones nur nach der Höhe des Grundtons. Im Sinne der Ohm'schen Theorie müssen wir vermuthen, daß die Klangverschiedenheiten solcher Töne, welche nicht discontinuirliche Bestandtheile enthalten, von der verschiedenen Stärke ihrer Obertöne herrühren. Ich will mir deshalb hier erlauben, um die Begriffe schärfer

1) Ohm, diese Annalen Bd. LIX, S. 513; Bd. LXII, S. I. Seebeck, ebendasselbst Bd. LX, S. 449; Bd. LXIII, S. 353 und 368. Repert. d. Physik Bd. VIII, Abschn. XXI, S. I.

herauszustellen, den zusammengesetzten Ton eines musikalischen Instruments *Klang* zu nennen, und den Namen des *Tones* nur auf einfache Töne anzuwenden. Ein *Klang* wäre danach also eigentlich ein Accord mit überwiegendem Grundton, seine Stärke würde gleich der Summe der Stärke der einzelnen in ihn eintretenden Töne seyn, seine Höhe gleich der Höhe seines Grundtons. Das Ohr ist nun gewöhnt, die Klänge der musikalischen Instrumente, der menschlichen Stimme u. s. w. immer in derselben Zusammensetzung wiederkehrend zu hören, so daß sie ihm zu bestimmten und bekannten Sinneswahrnehmungen werden, über deren Zusammensetzung zu reflectiren es keine Veranlassung hat, eben so wenig, wie wir uns für gewöhnlich klar machen, daß die sinnliche Anschauung eines körperlich ausgedehnten Gegenstandes aus zwei verschiedenen Netzhautbildern beider Augen zusammengesetzt ist. Wir beachten die Sinnesempfindungen im gewöhnlichen Gebrauche unserer Sinne ja überhaupt nur so weit, als sie uns dienen Gegenstände und Ereignisse der Außenwelt zu erkennen, und vernachlässigen, was dazu unnöthig ist, in solchem Grade, daß eine besondere, oft schwierige Uebung der Aufmerksamkeit nöthig ist, um dergleichen wahrzunehmen. Ich erinnere an die Doppelbilder, die Erscheinungen des blinden Flecks. So ist uns ein gewisser zusammengesetzter Ton das ausreichende sinnliche Zeichen für die Anwesenheit eines gewissen tönenden Körpers, und insofern von Interesse. Die Art seiner Zusammensetzung dagegen interessirt erst den Physiker, und dieser muß für die Wahrnehmung der Obertöne seine Aufmerksamkeit in ähnlicher Weise künstlich unterstützen, wie für die Wahrnehmung der Doppelbilder und des blinden Flecks. Ich finde, daß für die Wahrnehmung der Obertöne keineswegs ein besonders geübtes musikalisches Gehör nöthig ist, denn es hören sie auch Personen von geringer musikalischer Uebung, wenn man nur passende Mittel anwendet, ihre Aufmerksamkeit auf den Ton zu lenken, der gehört werden soll. Ein geübtes musikalisches Ohr hat nur den Vorzug zu wissen, wie die

Octave, Duodecime u. s. w. des angegebenen Tones klingen muß, und daher den betreffenden Ton ohne weitere Hülfe finden zu können. Sonst kann man sich helfen, wenn man kurz vorher den zu hörenden Oberton auf dem Klaviere angiebt. Bei aushaltenden Klängen ist es ein sehr vortheilhaftes Mittel, während sie erklingen, den Oberton auf dem Klaviere anzugeben und auf sein Verklingen zu achten. Existirt nun derselbe Ton in der angegebenen Klangmasse, so scheint der Klavierton nicht vollständig zu verklingen, sondern das Ohr wird von ihm unmittelbar auf den entsprechenden Oberton übergeleitet, und hält diesen für die Fortsetzung jenes. Nach dieser Methode hört man z. B. die Obertöne der Orgelpfeifen, der menschlichen Stimme, der Sirenentöne sehr gut.

Ein zusammengesetzter Klang erscheint uns also allerdings als eine einfache Sinnesempfindung, aber wir sind im Stande durch geeignete Leitung unserer Aufmerksamkeit verschiedene sinnliche Empfindungen in ihm zu entdecken, deren Verschmelzung und Vereinigung also, da sie durch die Aufmerksamkeit zu lösen ist, auch nicht durch die Thätigkeit des Nerven, sondern selbst nur durch physische Thätigkeit herbeigeführt seyn kann. Seebeck behauptet, daß Ohm's Definition des Tones zu eng sey, daß außer der dem Grundton entsprechenden einfachen Wellenbewegung auch noch andere Glieder der Fourierschen Reihe die Empfindung des Grundtons verstärken könnten. Diefes erscheint ganz richtig, wenn er unter Ton das versteht, was wir eben mit dem Namen Klang bezeichnet haben, und was für die nur durch die Uebung des gewöhnlichen Lebens geschulte Aufmerksamkeit allerdings ein sinnliches Ganze ist, während die Ohm'sche Definition des Tons in der That das zu bezeichnen scheint, was in der Thätigkeit des Gehörnerven das einfachste Element ist<sup>1)</sup>.

1) Ich hemerke hier noch, daß in einzelnen von den Versuchen, die Seebeck in dieser Streitsache angestellt hat, wo er in eine Sirenscheibe von zwei Seiten her angeblasen hat, die Berechtigung der von ihm ge-

Wenn wir nun Ohm's Definition des Tones auf die Entstehung der Combinationstöne anwenden, so ergibt sich leicht, daß ihr entsprechend Combinationstöne so lange gar nicht vorkommen können, als eine ungestörte Superposition der primären Tonwellen in der Luft stattfindet. Denn da jede periodische Function der Zeit nur in einer einzigen Weise durch eine Fourier'sche Reihe ausgedrückt werden kann, so kann auch die zusammengesetzte Luftbewegung mehrerer primärer Töne nur in dieselben einfachen Wellen wieder zerlegt werden, aus denen sie zusammengesetzt ist. Aber auch, wenn es gelänge, statt der von Ohm angenommenen Form der Luftbewegung für einen einfachen Ton eine andere bestimmte Form zu finden, welche die Phänomene der Obertöne genügend zu erklären zuliesse: auch dann würde doch immer die zusammengesetzte Luftbewegung vom Ohr nur wieder in dieselben den primären Tönen entsprechenden Glieder zu zerlegen seyn, aus denen sie entstanden war. Nehmen wir aber wie Seebeck an, daß dem einfachen Tone viele verschiedene Formen der Luftbewegung entsprechen könnten, so würde es ganz unbestimmt bleiben, in welche Glieder das Ohr die durch zwei Töne erzeugte periodische Luftbewegung zerlegen. Bei einer solchen unbestimmten Annahme würde also wohl die allgemeine Möglichkeit offen gehalten werden, daß das Ohr Combinationstöne hörte, deren Schwingungszahl dem gemeinschaftlichen Maasse der Schwingungszahlen der primären Töne gleich, oder ein Multiplum derselben wäre, indessen würde doch immer noch

zogenen Schlüsse zweifelhaft bleibt, weil die Schwingungsrichtung der Lufttheilchen bei der Ankunft der Wellen am Ohre möglicher Weise eine ganz andere seyn konnte, als er voraussetzt, wie er denn selbst in seinem Streite mit Savart (diese Annalen Bd. LIX, S. 177, Bd. LXVII, S. 145, Bd. LXVIII, S. 465) nachgewiesen hat, daß die Schwingungsrichtung sich ändert, wenn sich die Fortpflanzungsrichtung ändert. Er giebt den Wellen, welche durch Anblasen in entgegengesetzter Richtung erzeugt waren, entgegengesetzte Vorzeichen, während sie an einzelnen Stellen des Raums parallel geworden seyn konnten und gleiche Vorzeichen haben mußten.



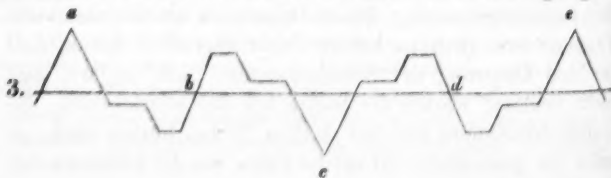
die Ursache zu finden seyn, welche das Ohr bestimmte, diesen oder jenen Ton wirklich zu hören. Ausserdem sehe ich nicht ein, wie diese Hypothese in Bezug auf irrationelle Tonverhältnisse zu anderen Folgerungen führen sollte, als die W. Weber daraus gezogen hat, wonach die angenäherten Verhältnisse der Kettenbrüche zu benutzen wären, um die Höhe der Combinationstöne zu finden. Aber gerade diese Folgerung stimmt nicht mit der Erfahrung überein.

Noch habe ich eine bestimmtere Annahme zu erwähnen, welche Young andeutet, und welche auch Hällström und Roeder benutzt haben; sie gründet sich auf die scheinbare Analogie der Stöße zweier nahe gleich hoher Töne und der Combinationstöne. Die Zahl der Stöße ist nämlich ebenso, wie die Schwingungszahl des Differenztones erster Ordnung, gleich der Differenz der Schwingungszahlen der primären Töne. Ist diese Differenz klein, so ist der Combinationston unhörbar tief, dagegen sind die Stöße hörbar. Ist die Differenz groß, so kann das Ohr die Zahl der Stöße nicht mehr fassen, dagegen hört es den Combinationston. Die Stöße entstehen bekanntlich dadurch, daß die Wellensysteme zweier nicht genau gleich hoher Töne abwechselnd mit gleichen und entgegengesetzten Phasen zusammenfallen, und sich demgemäß abwechselnd verstärken und schwächen. Jeder Stoß entspricht einer vorübergehenden Verstärkung der Luftvibrationen, umfaßt also eine Reihe hin- und hergehender Bewegungen der Luftheilchen. Young nahm nun an, daß solche Stöße zweier schwebenden Töne ebenso wie die einfachen Luftstöße z. B. der Sirene, wenn sie schnell genug einander folgen, dem Ohre die Empfindung eines Tones geben könnten, und solch ein Ton sey der Combinationston. Diese Hypothese scheint sich viele Freunde erworben zu haben. Aber abgesehen davon, daß sie den Ursprung der Summationstöne nicht erklärt, und nicht erklärt, warum die Stöße bei den allerleisesten, die Combinationstöne nur bei starken Tönen hörbar sind, so paßt sie ganz allein auf solche Fälle, wo die Differenz der

Schwingungszahlen klein ist gegen die Schwingungszahlen selbst.

Es kommt bei dieser Annahme doch wesentlich darauf an, daß sich nach Ablauf jeder Schwingungsdauer des Combinationstons ähnliche Eindrücke, nämlich die eines verstärkten Tones, für das Ohr wiederholen sollen. Wenn ein Ton *A* nun 100 Schwingungen macht, während der andere *B* 101 ausführt, und im Anfang der Bewegung zwei positive Maxima von *A* und *B* zusammenfallen, so wird das 100te Maximum von *A* mit dem 101ten von *B* zusammenfallen, und ein Maximum von doppelter Stärke erzeugen, aber auch das 101, 102, 103te Maximum von *A* wird genau genug mit dem 102, 103, 104ten von *B* zusammenfallen, um nahe ebenso starke zusammengesetzte Maxima zu geben. Auch wird es für den Grad der Tonverstärkung gleichgültig seyn, ob die positiven Maxima nach 100 Schwingungen von *A* und 101 von *B*, oder die negativen Maxima nach  $99\frac{1}{2}$  und  $101\frac{1}{2}$  Schwingungen beziehlich von *A* und *B*, oder die Nullpunkte nach  $99\frac{3}{4}$  und  $100\frac{3}{4}$  Schwingungen es sind, die genau zusammenfallen. Immer wird die Stärke der doppelten Maxima und Minima, und die Gestalt des zusammengesetzten Wellenzuges fast genau dieselbe seyn; aber, und das ist wohl zu beachten, diese Aehnlichkeit entsteht nur daher, daß die Differenz der Schwingungsdauer gegen diese selbst sehr klein ist.

Jetzt wollen wir die entgegengesetzte Annahme machen. Die Curve 3 stellt die Resultante zweier Wellenzüge von gleicher lebendiger Kraft vor, deren jeder eine Gestalt wie die Curve 1 S. 524 hat, und deren einer zwischen *a* und *e* drei, der andere sieben Schwingungen macht. Ihr Combinationston macht in derselben Zeit vier Schwingungen.



Wenn wir also die Entfernung  $ae$  in vier gleiche Theile  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$  theilen, so müßten zur Erzeugung des Combinationstons gleichartige Eindrücke auf das Ohr in folgenden Momenten hervorgebracht werden 1) durch die positiven grössten Maxima  $a$  und  $e$ ; 2) durch den Nullpunkt der Curve  $b$ ; 3) durch das negative Maximum  $c$ ; 4) durch den Nullpunkt  $d$ . Hier kann von einer Aehnlichkeit dieser Curventheile keine Rede mehr seyn, und so scheint mir die gegebene Erklärung hier ihre Bedeutung zu verlieren. Man hat sie auf eine Eigenthümlichkeit der zusammengesetzten Wellenbewegung gegründet, welche unter den Umständen, wo Stöße eintreten, bei verhältnißmäfsig geringer Differenz der Schwingungszahlen stattfindet, aber gerade unter den Umständen, wo Combinationstöne eintreten, bei verhältnißmäfsig grofser Differenz der Schwingungszahlen nicht mehr vorhanden ist.

Durch diese Ueberlegungen auf das Ungenügende der bisherigen Theorien aufmerksam gemacht, glaubte ich einen Fingerzeig, der auf den richtigen Weg führen konnte, in dem bisher wenig beobachteten Umstande zu entdecken, dafs die Combinationstöne nur bei starken primären Tönen auftreten, und ihre Intensität in einem viel schnelleren Verhältnisse zu wachsen scheint, als die der primären Töne. Danach glaubte ich vermuthen zu dürfen, dafs sie bei Wellenzügen von unendlich kleinen Amplituden, wie man theoretisch die Schallwellen gewöhnlich annimmt, nicht vorkommen möchten, sondern nur bei solchen von endlichen Amplituden.

Die daraus im Folgenden entwickelte Theorie führte mich auf die Entdeckung der Summationstöne, welche sowohl in auffallender Weise die Richtigkeit der neuen Theorie bestätigen, als auch eine von den früheren Theorien aus unerklärbare Erscheinung seyn möchten.

Während man bisher immer angenommen hat, dafs verschiedene Tonwellenzüge, welche gleichzeitig in der Luft oder einem andern elastischen Mittel erregt werden, sich einfach superponiren, ohne gegenseitig Einflufs auf einan-

der zu haben, und man diese Annahme durch die bekannten Erfahrungen der Möglichkeit, gleichzeitig erklingende Töne verschiedener Instrumente oder menschlicher Stimmen, jede mit ihrer besonderen Tonhöhe und ihrer Klangfarbe, neben einander zu erkennen, hinreichend gerechtfertigt glaubte: so war doch andererseits zu bedenken, daß die theoretische Mechanik eine solche ungestörte Superposition nur für den Fall *unendlich kleiner* Schwingungen nachwies, während aus den Bewegungsgleichungen der Luft gleichzeitig ersehen werden konnte, daß bei Wellenzügen von unendlicher Größe der Amplituden eine solche ungestörte Superposition nicht stattfinden kann. Die theoretische Untersuchung der letztgenannten Fälle ergab mir nun, daß verschiedene einfache Schwingungsbewegungen eines elastischen Körpers sich ungestört superponiren, so lange die Amplituden der Schwingungen so klein sind, daß die durch die Verschiebungen hervorgebrachten Bewegungskräfte diesen Verschiebungen selbst merklich proportional sind. *Wenn aber die Amplituden der Schwingungen so groß werden, daß die Quadrate der Verschiebungen einen merklichen Einfluß auf die Größe der Bewegungskräfte erhalten, so entstehen neue Systeme einfacher Schwingungsbewegungen, deren Schwingungsdauer derjenigen der bekannten Combinationstöne entspricht.*

Der einfachste Fall ist der, wo wir nur die Bewegungen eines einzelnen beweglichen Massenpunkts zu betrachten haben, der durch elastische Kräfte in einer bestimmten Gleichgewichtslage festgehalten wird, und den Tonwellenzüge des umgebenden elastischen Mittels erschüttern. Es ist dieser Fall den Verhältnissen in unserem Ohre einigermaßen ähnlich. Der bewegliche Massenpunkt entspricht dem Stiele des Hammers, das Paukenfell einer elastischen Feder, die ihn in einer bestimmten Stellung festzuhalten sucht.

Die Masse des beweglichen Punktes sey  $m$ , seine Entfernung von der Gleichgewichtslage zur Zeit  $t$  sey  $x$ . Die Kraft  $k$ , welche ihn in die Gleichgewichtslage zurückzu-

führen strebt, sey abhängig nicht bloß von der ersten, sondern auch von der zweiten Potenz der Elongation, also

$$k = ax + bx^2.$$

Außerdem mögen zwei Schallwellenzüge den beweglichen Massenpunkt treffen, und auf ihn einen periodisch veränderlichen Druck  $f \sin(pt)$  und  $g \sin(qt + c)$  ausüben. Die Bewegungsgleichung des Massenpunktes ist alsdann:

$$-m \frac{d^2 x}{dt^2} = ax + bx^2 + f \sin(pt) + g \sin(qt + c) \dots 1)$$

Diese Gleichung kann man durch eine Reihe integrieren, indem man darin setzt:

$$x = \varepsilon x_1 + \varepsilon^2 x_2 + \varepsilon^3 x_3 + \text{etc.} \dots \dots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} f &= \varepsilon f_1 \dots \dots \dots \\ g &= \varepsilon g_1 \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (2.)$$

und die mit gleichen Potenzen von  $\varepsilon$  multiplicirten Glieder einzeln gleich Null setzt. Also:

$$ax_1 + m \frac{d^2 x_1}{dt^2} = -f_1 \sin(pt) - g_1 \sin(qt + c) \dots \dots (3.)$$

$$ax_2 + m \frac{d^2 x_2}{dt^2} = -bx_1^2 \dots \dots \dots (3.)$$

$$ax_3 + m \frac{d^2 x_3}{dt^2} = -2bx_1 x_2 \dots \dots \dots (3.)$$

etc.

Das vollständige Integral der Gleichung (3.) ist:

$$x_1 = A \sin \left( t \sqrt{\frac{a}{m}} + h \right) + u \sin(pt) + v \sin(qt + c) \dots (5)$$

worin  $A$  und  $h$  die beiden Integrationsconstanten sind,  $u$  und  $v$  aber folgende Werthe haben:

$$u = \frac{f_1}{mp^2 - a} \quad \text{und} \quad v = \frac{g_1}{mq^2 - a}.$$

Das erste Glied  $x_1$  der Reihe 2 entspricht also drei Tönen, von denen der erste die Schwingungszahl  $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{m}}$  hat, und dem eignen Tone des schwingenden Punktes entspricht. Dieser Ton, wenn er auch im Anfange der Bewegung vorhanden seyn möchte, erlöscht jedenfalls schnell.

Wir können also in unserem Falle  $A$  gleich Null setzen, und haben dann:

$$x_1 = u \sin(pt) + v \sin(qt + c) \quad . \quad . \quad (4)$$

Dieses erste Glied unserer Reihe läßt erkennen, daß der schwingende Punkt zunächst die beiden erregenden Töne wiedergiebt. Dieses Glied würde das einzige der Reihe seyn, wenn die Kraft nicht vom Quadrat der Entfernung abhängig, also  $b=0$ , oder  $x$  so klein wäre, daß  $bx^2$  gegen  $ax$  vernachlässigt werden könnte. In diesem Gliede findet noch eine ungestörte Superposition der Schwingungen statt. Ihre Amplituden  $u$  und  $v$  fallen gleich groß aus, gleichviel ob der andere Ton vorhanden ist oder nicht.

Setzt man den Werth  $x_1$  aus der Gleichung 4 in 3, so erhält man:

$$\begin{aligned} ax_2 + m \frac{d^2 x}{dt^2} &= -b \left\{ u^2 \sin^2(pt) + v^2 \sin^2(qt + c) \right. \\ &\quad \left. + 2uv \sin(pt) \sin(qt + c) \right\} \\ &= -b \left\{ \frac{1}{2}(u^2 + v^2) - \frac{1}{2}u^2 \cos(2pt) \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2}v^2 \cos(2qt + 2c) + uv \cos[(p - q)t - c] \right. \\ &\quad \left. - uv \cos[(p + q)t + c] \right\}. \end{aligned}$$

Das Integral dieser Gleichung ist folgendes, wenn man den eigenen Ton des schwingenden Punktes wieder fortläßt:

$$\begin{aligned} x_2 &= -\frac{b}{2a}(u^2 + v^2) = \frac{bu^2}{2(4mp^2 - a)} \cos 2pt \\ &\quad - \frac{bv^2}{2(4mq^2 - a)} \cos 2(qt + c) + \frac{buv}{m(p - q)^2 - a} \cos[(p - q)t - c] \\ &\quad + \frac{buv}{m(p + q)^2 - a} \cos[(p + q)t + c] \quad . \quad . \quad (5). \end{aligned}$$

Das zweite Glied unserer Reihe liefert uns also Töne von den Schwingungszahlen  $\frac{2p}{2\pi}$ ,  $\frac{2q}{2\pi}$ ,  $\frac{p-q}{2\pi}$  und  $\frac{p+q}{2\pi}$ . Die ersten beiden sind höhere Nebentöne der primären Töne  $\frac{p}{2\pi}$  und  $\frac{q}{2\pi}$ , der dritte ist der Differenzton erster Ordnung, und der vierte der Summationston erster Ordnung. Die

Amplitude der beiden Combinationstöne enthält als Factor das Product  $uv$  der Amplituden der primären Töne. Sind die letzteren also sehr klein, so ist die Amplitude der Combinationstöne eine kleine Gröfse zweiter Dimension, und wachsen  $u$  und  $v$  gleichmäfsig, so wächst  $uv$  im quadratischen Verhältnisse. Daraus folgt mit der Erfahrung übereinstimmend, dafs bei sehr schwachen primären Tönen die Combinationstöne unhörbar seyn müssen, bei starken primären Tönen die letzteren dagegen in einem stärkeren Verhältnisse wachsen müssen.

Den eigenen Ton des schlaff gespannten Trommelfells in seiner Verbindung mit den trägen Massen der Gehörknöchelchen und des Labyrinthwassers dürfen wir wohl als ziemlich tief ansehen, so dafs, wenn wir unsere Rechnung auf den Trommelfellapparat anwenden wollen, folgen würde, dafs

$$\sqrt{\frac{a}{m}} < p - q < p + q$$

oder

$$a < m(p - q)^2 < m(p + q)^2$$

und

$$\frac{buv}{m(p - q)^2 - a} > \frac{buv}{m(p + q)^2 - a},$$

dafs also die Amplitude des Differenztones gröfser ist als die des Summationstons. Vernachlässigen wir die Gröfse  $a$ , so würden sich bei der Quinte die Amplituden der beiden Combinationstöne zu einander verhalten wie  $(3+2)^2 : (3-2)^2 = 25:1$ , bei der Quarte wie  $49:1$ , bei der Terz wie  $81:1$ . Wirklich finden wir, dieser Berechnung, entsprechend in der Erfahrung die Intensität des Summationstons stets sehr viel geringer als die des Differenztons.

Das dritte Glied der Reihe enthält die Töne, welche in  $2\pi$  Sekunden  $3p$ ,  $3q$ ,  $2p+q$ ,  $2p-q$ ,  $p+2q$ ,  $p-2q$ ,  $p$  und  $q$  Schwingungen machen. Unter diesen sind die Töne  $p \pm 2q$  und  $q \pm 2p$  Combinationstöne zweiter Ordnung. Ihre Amplitude ist eine kleine Gröfse dritter Dimension. Ebenso läfst sich übersehen, dafs das  $n$ te Glied der Reihe Combinationstöne  $n$ ter Ordnung liefern wird, deren Amplitude eine kleine Gröfse  $n$ ter Dimension seyn wird.

Zu bemerken ist noch, daß bei einem einzelnen schwingenden Massenpunkte das Quadrat der Elongationen nur dann Einfluß auf die Bewegungen haben kann, wenn er unsymmetrisch befestigt ist. Denn in der oben gemachten Annahme für die Größe der elastischen Kraft  $k$ , welche den Massenpunkt in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt,

$$k = ax + bx^2$$

liegt *implicite* die Bedingung, daß eine Verschiebung in Richtung der negativen  $x$  eine andere elastische Kraft hervorruft, als eine solche in Richtung der positiven  $x$ .

Unter den Theilen im Ohre finden wir nun namentlich das Trommelfell in höchst unsymmetrischer Weise gebildet. Der Stiel des ersten Gehörknöchelchens, des Hammers, ist in dasselbe eingewachsen, und zieht es trichterförmig nach innen. Eben dieser zur Entstehung der Combinationstöne nothwendigen unsymmetrischen Bildung wegen glaube ich annehmen zu dürfen, daß wenn im Ohre Combinationstöne entstehen, namentlich das Trommelfell dabei betheilt sey. Die Asymmetrie des Ohres spricht sich auch deutlich aus bei Scheibler's Versuchen über die Schwingungen unrein gestimmter harmonischer Intervalle, welche Versuche, wie ich oben erwähnt habe, auch mit einfachen Tönen gelingen. Es läßt sich aus Scheibler's Bestimmungen der Zahl der Stöße nachweisen, daß zwei Schallwellenzüge verschiedene Empfindungen im Ohre erregen, wenn die Elongationen der Lufttheilchen in ihnen in entsprechenden Zeitpunkten gleiche Größe, aber entgegengesetzte Richtung haben.

Nimmt man z. B. zwei Gabeln, die genau eine Octave mit einander bilden, und verstimmt die höhere um so viel, daß sie in der Sekunde eine Schwingung mehr macht als vorher, so hört man beim Zusammenklingen beider Gabeln in jeder Sekunde eine Schwebung. Diese Schwebung giebt sich dem Ohre mehr durch einen Wechsel der Klangfarbe, als durch wechselnde Stärke des Tons zu erkennen. Es klingt ungefähr wie  $\text{u} - \text{e} - \text{u} - \text{e} - \text{u} - \text{e}$  u. s. w. Während also die beiden zusammenklingenden Töne zu



Anfang und Ende der Sekunde einen gewissen sinnlichen Eindruck *A* hervorbringen, bringen sie in der Mitte der Sekunde einen anderen sinnlichen Eindruck *B* hervor. Eine leicht anzustellende Untersuchung der Bewegungsform der Lufttheilchen zeigt nun, daß der Eindruck *B* in der Mitte der Sekunde einer Form der Schallwellen entspricht, welche das negative Abbild derjenigen ist, die zu Anfang und zu Ende der Sekunde den Eindruck *A* hervorbringt. Fallen z. B. die positiven Maxima des höheren Wellenzuges zu Anfang und Ende der Sekunde abwechselnd auf die positiven und negativen Maxima des tieferen Wellenzuges, so sind es in der Mitte der Sekunde die negativen Maxima des ersten die mit den Maximis des zweiten zusammenfallen, und die zweite Wellencurve bekommt von einem negativen Maximum angefangen ganz dieselbe Gestalt aber entgegengesetzte Lage, wie die erste Wellencurve von einem positiven Maximum angefangen. Daraus geht also hervor, daß das Ohr von entgegengesetzt gerichteten, aber gleich großen Luftbewegungen ungleich afficirt wird.

Aus der gegebenen Entwicklung ergibt sich, daß wir den Ursprung der Combinationstöne nicht nothwendig in der Empfindungsweise des Hörnerven zu suchen haben, sondern daß bei zwei gleichzeitig erklingenden Tönen von gehöriger Stärke den Combinationstönen wirkliche Schwingungen des Trommelfells und der Gehörknöchelchen entsprechen können, welche von dem Nervenapparate in der gewöhnlichen Weise empfunden werden. Danach würden die Combinationstöne nicht eine bloß subjective Existenz haben, sondern würden auch objectiv, wenn auch zunächst nur in den schwingenden Theilen des Ohres selbst bestehen können.

Wir haben die gegebene mechanische Entwicklung zunächst auf die Bewegungen des Apparats der Trommelhöhle bezogen; indessen ist klar, daß ähnliche Verhältnisse sich auch außerhalb des Ohres wiederholen können, daß also auch den Combinationstönen entsprechende Schwingungen ganz unabhängig vom menschlichen

Ohre und aufserhalb desselben unter geeigneten Umständen müssen vorkommen können.

Wir haben ferner nur die Bewegung eines einzelnen von elastischen Kräften festgehaltenen Massenpunktes der Berechnung unterworfen; indessen kann man aus der Analogie leicht schliessen, dass ähnliches auch bei Systemen von Massenpunkten, zwischen denen elastische Kräfte wirksam sind, also in elastischen festen oder flüssigen Körpern vorkommen können. Die mathematische Untersuchung der nicht unendlich kleinen Schwingungen elastischer Körper ist jedoch sehr weitläufig, und da ich bisher noch über keine Versuche zu berichten habe, zu deren Verständniss eine ausführliche Kenntniss der Theorie nothwendig wäre, so möge es hier genügen, anzuführen, was mich die theoretische Untersuchung der Bewegung der Luft in dieser Beziehung gelehrt hat.

Bei der mathematischen Untersuchung über die Schallbewegung in der Luft berücksichtigt man in der Regel nur die Glieder der Gleichungen, welche die ersten Potenzen der Elongationen der Lufttheilchen enthalten und vernachlässigt die höheren Potenzen derselben. Behält man auch die Glieder bei, welche die zweiten Potenzen der Elongationen enthalten, so findet man folgendes:

1) Jeder Punkt der Luftmasse, in welchem die Schwingungen, die einem einzelnen der angegebenen primären Töne angehören, heftig genug werden, wird Centrum von neuen secundären Wellensystemen, welche den harmonischen Obertönen des betreffenden Tones entsprechen.

2) Jeder Punkt der Luftmasse, wo die Schwingungen beider primär angegebenen Töne gleichzeitig hinreichende Grösse erreichen, wird das Centrum neuer secundärer Wellensysteme, die den Combinationstönen entsprechen, und zwar entstehen daselbst sowohl Differenz- als Summationstöne, erster und höherer Ordnungen.

Wir werden die Bildung von Combinationstönen in der Luftmasse also namentlich dann zu erwarten haben, wenn die Centra der beiden primären Tonwellensysteme

nahe an einander liegen, so daß die zwischenliegende Luftmasse gleichzeitig von beiden Tönen heftig erschüttert wird.

Es ist möglich die objective Existenz von Combinationstönen durch das Mitschwingen dünner Membranen nachzuweisen. Aber nur bei der mehrstimmigen Sirene fand ich bisher die Combinationstöne stark genug für diesen Zweck. Ich spannte über die eine Oeffnung einer cylindrischen Röhre von  $1\frac{1}{2}$  Zoll Durchmesser eine dünne Kautschukmembran. Das andere Ende der Röhre war durch einen Deckel mit engerer Oeffnung verschlossen. Wenn man gegen die Ränder dieser Oeffnung blies, konnte man verschiedene Töne erzeugen, wobei die Membran aufgestreuten Sand in verschiedene Klangfiguren ordnete. Der Grundton war  $e_1$ ; wenn er angegeben wurde, sammelte sich aller Sand am Rande der Membran. Ich brachte nun die Mündung des Rohrs über die Scheibe der mehrstimmigen Sirene, während die Membran nach oben gewendet, und mit Sand bestreut war, und blies dann die Sirene an, so daß diese allmählich immer schneller rotirte und Töne von wachsender Höhe gab, wobei ich zwei Löcherreihen öffnete. Zuerst tritt alsdann eine Bewegung des Sandes ein, wenn der höhere der beiden angegebenen Töne bis  $e$  gestiegen ist, so daß der erste höhere Nebenton des  $e$  mit dem Tone der Membran zusammenstimmt. Bei weiter steigender Geschwindigkeit der Sirenscheibe kam die Membran wieder zur Ruhe, und gerieth zum zweiten Male, und zwar in stärkere Bewegung, wenn der Summationston beider Töne bis  $e_1$  gestiegen war. Vermittels der Sandfigur konnte man controliren, daß die Membran in der That im Tone  $e_1$  mitschwang. Auch stimmt der Summationston niemals mit einem der höheren Nebentöne der primären Töne überein, wenn nicht der eine primäre Ton selbst ein höherer Nebenton des andern ist. Es blieb also kein Zweifel, daß die Membran durch den Summationston in Schwingung versetzt wurde, und daß dieser Ton also objectiv vorhanden war.

Es möge hier genügen, durch einen Versuch das Factum festgestellt zu haben, daß Combinationstöne unabhängig vom menschlichen Ohre entstehen können. Einen anderen Nachweis derselben Thatsache, der in mancher Beziehung noch lehrreicher ist, habe ich mittels einer eigenthümlichen Form der Sirene erhalten. Das neue Instrument und die damit auszuführenden Versuche behalte ich mir indessen vor in einem anderen Aufsätze im Zusammenhange zu beschreiben.

---

II. *Neue Beobachtungen und Versuche über eine eigenthümliche, noch wenig bekannte Reactions-thätigkeit des menschlichen Auges;*  
*von Dr. J. J. Oppel.*

---

Auf einer Schweizerreise begriffen, wanderte ich am Abende des 13. Juli 1853 von dem westlichen Ende der Stadt *Schaffhausen* aus am rechten Ufer des Rheins hinab nach dem kaum eine kleine Stunde entfernten Dörfchen *Neuhausen*, um das allbekannte und vielgepriesene Wunderwerk der Gegend, den Rheinfall, in Augenschein zu nehmen.

Gleich beim Austritte aus der Stadt, oder vielmehr noch bei den letzten zu ihr gehörigen Landhäusern und Gärten, wo man den Fluß unmittelbar zur Linken hat, fesseln den Blick des Wanderers die mächtig brausenden und schäumenden *Stromschwellen*, — von den Anwohnern die „*Lechen*“ (Lächen?) genannt, — die, durch zackige, bis zur Wasserfläche emporreichende Felsblöcke hervorgerufen, den Lauf des Stromes beunruhigen, und bei günstigem Wasserstande durch ihren in der That schon recht imposanten Anblick gleichsam auf das großartigere Schauspiel bei Neuhausen und Lauffen vorbereiten.

Feuerflammen, Wasserfälle, Meereswogen bieten durch

ihre nimmer rastende Beweglichkeit dem Auge des Menschen, welches sich ja vorzugsweise zum Lebendigen hingezogen fühlt, ein leicht zugängliches, recht zu Tage liegendes Analogon von Thätigkeit und *Leben* in der unorganischen Natur, und darin liegt auch ohne Zweifel die Grundursache des eigenthümlichen, durch die Kunst nie nachzuahmenden *Reizes*, den die Betrachtung jener einfachen Naturerscheinungen gewährt, und durch welchen sie das nicht zu sättigende Auge ohne Vergleich länger zu fesseln vermag, als der Anblick eines noch so reizenden und erhabenen, aber unbeweglich starren Bildes. So hatten auch wir eine gute Weile an der das Ufer einfassenden Balustrade gestanden und dem stürmischen Wogen der Wassermassen zugesehen, als mich mein Begleiter, eben im Begriffe, die unterbrochene Wanderung fortzusetzen, auf eine seltsame Bewegung des *Erbodens dicht vor unsern Füßen* aufmerksam machte. Ich blickte hin und war in der That überrascht, den Sand und die kleinen Steinchen, welche unsern vollkommen wagrechten und ebenen Pfad bedeckten, in lebhafter, unruhiger Bewegung von der Rechten zur Linken dem Ufer des Flusses zueilen zu sehen. Die Bewegung erstreckte sich auf einen Streifen von nur einigen Zollen in der Breite und einigen Füssen in der Länge, war jedoch nach allen Seiten hin nicht scharf abgegränzt, sondern gleichsam verlierend, so daß sich die *mittleren* Theile des erwähnten Streifens rascher zu bewegen schienen, als die Ränder und die beiden Enden desselben. Dabei bemerkte das Auge sehr bald, daß, der anscheinenden Eile ungeachtet, die einzelnen Steinchen und Erdschollen eigentlich nicht vom Platze kamen und namentlich auch ihre relative Lage nicht merklich veränderten, so daß es fast aussah, als würden sie von einem Maulwurfe, oder einem ähnlichen darunter befindlichen Thiere beunruhigt, dessen Weg dem Flusse zugewendet sey; — ein Gedanke, dem wir wirklich auf einen flüchtigen Augenblick Raum gaben. Es genügten indess wenige Sekunden zur Feststellung der Ueberzeugung, daß hier eine bloße

*optische Täuschung* obwalte, ohne Zweifel veranlaßt durch die unmittelbar vorhergegangene andauernde Betrachtung des bewegten Wassers.

Wir wiederholten den Versuch sofort noch einige Male mit gleich günstigem Erfolge. Als wir z. B., nach abermaliger längerer Betrachtung jener Stromschnellen den Kopf umwendend, die fensterreiche Fassade eines zu unserer Rechten befindlichen Gartenhauses anblickten, schien sich die mittlere Fensterreihe (die des ersten Stockes) ziemlich rasch von der rechten nach der linken Hand zu verschieben, während die des Erdgeschosses und des zweiten Stockes ruhig blieb, nicht anders, als ob die diese Fensterreihen verbindende Wand des Hauses aus einem lederartig dehnbaren Stoffe bestände, welcher, oben und unten festgehalten, in seinem mittleren Theile durch irgend eine unsichtbare Macht nach der Linken fortgezogen würde. Dasselbe zeigte sich an den sonst ganz ruhigen Wölkchen des Horizontes und an mancherlei andern Gegenständen, auf welche wir die Blicke lenkten. Doch dauerte die scheinbare Bewegung immer nur einige Sekunden lebhaft fort, und verschwand, nachdem sie *ganz allmählich* langsamer und unmerklicher geworden.

Es lag auf der Hand, daß hier eine entoptische Erscheinung (im weiteren Sinne dieses Ausdrucks) vorliege, die im Allgemeinen als eine *Reactionsthätigkeit des Auges in Bezug auf bewegte Netzhautbilder* bezeichnet werden kann, und vermöge welcher dasselbe, wenn es eine Zeit lang dem Eindrücke eines solchen in beharrlicher, gleichartiger Bewegung begriffenen Bildes ausgesetzt gewesen, den unmittelbar darauf wahrgenommenen *ruhenden* Bildern eine *Bewegung im entgegengesetzten Sinne* ertheilt, — so daß die Erscheinung vollkommen analog derjenigen wäre, welche in Bezug auf Farbenempfindung die bekannten complementär gefärbten Spectra oder Nachbilder, desgleichen die Licht-contrasten in Bezug auf Qualität und Intensität der Strahlen darbieten, und dieselbe demnach in die große Klasse der auch bei den Empfindungen des Gehörorgans, wie über-

haupt bei allen sinnlichen Wahrnehmungen vorkommenden *Contrastwirkungen* zu rechnen ist <sup>1)</sup>).

Wir unterliessen nicht, die Beobachtung noch auf derselben Reise bei jeder ihr günstigen Gelegenheit zu wiederholen und zu prüfen. So betrachteten wir unter Andern noch an demselben Abende eine Weile ruhig die

- 1) Es fiel mir dabei sogleich eine bereits in den dreissiger Jahren in unserm hiesigen physikalischen Vereine zur Sprache gebrachte, aber freilich, wie es scheint, später nicht bewährte eigenthümliche Beobachtung eines der thätigsten und geistreichsten Mitglieder dieses Vereins, des durch seine Forschungen auf dem Gebiete der strömenden Elektrizität bekannten verstorbenen Professors Dr. Neeff ein, die sich, wie Derselbe sich damals ausdrückte, »auf die Entdeckung *complementärer Figuren* in dem Sinne, wie es *complementäre Farben* gebe«, bezog. Neeff wollte nämlich damals die Beobachtung gemacht haben, dass, wenn er das Auge eine Zeit lang ruhig auf die das Licht seiner Lampe reflectirenden, wellenförmig erhöhten und vertieften Streifen einer *glänzenden Metallplatte* (wohl ohne Zweifel seiner neben ihm stehenden goldenen Tabaksdose) und dann plötzlich auf eine wenig beleuchtete Stelle des Tisches richtete, das dadurch im Auge hervorgerufene Spectrum im *entgegengesetzten* Sinne, d. h. *rechtwinklich* zu den vorher betrachteten Lichtlinien, *gestreift* erscheine. Ich erinnere mich deutlich, dass ich bereits damals die mich in hohem Grade interessirende Beobachtung auf alle erdenklichen Weisen, *aber, stets ohne Erfolg*, zu wiederholen versuchte, dass vielmehr die Streifen des Spectrums (welches ich bei der grossen Empfindlichkeit meiner Augen von jedem Jalousieladen, ja sogar von Notenlinien hervorzurufen vermochte) stets genau *dieselbe* Lage hatten, wie die des betrachteten Gegenstandes, — so dass ich mir die Möglichkeit dachte, der sonst so scharfsichtige Beobachter könne vielleicht gar, indem er erst die etwa zu seiner Linken neben ihm stehende Metallfläche und dann die zur Rechten befindliche Fläche des Tisches betrachtete, die dabei unvermeidliche *Wendung seines Kopfes* (welche ziemlich 90° betragen mochte) übersehen haben, — ich mich aber doch damals, als junger Mensch, der eben erst im Begriffe stand, die Universität zu beziehen, nicht berufen hielt, einer wissenschaftlichen Autorität, wie Neeff war, zu widersprechen. Freilich wollte Dieser den Versuch auf mannichfache Weisen *modificirt*, namentlich auch, wie er sich ausdrückte, durch Betrachtung einer einzigen intensiven Lichtlinie »*simplificirt*«, — und dabei stets das gleiche Resultat gefunden haben; — doch scheint er, da der Sache meines Wissens nirgends mehr Erwähnung geschehen, späterhin selbst davon zurückgekommen zu seyn.



herabstürzenden Wasser des berühmten Rheinfalls selbst, und sahen dann, den Blick auf das gegenüber liegende Schlöfchen *Lauffen* richtend, dessen Fenster sich in schräger, etwas gebogener Linie eine Zeit lang *in die Höhe winden*. Ob die ursprüngliche (*anregende*) Bewegung eine wirkliche, oder nur scheinbare gewesen, macht, wie anderwärts, und wie auch hier vorausszusehen, im Erfolge keinen Unterschied. Als wir z. B. in der Kajüte des Dampfbootes, welches uns von Schaffhausen nach Friedrichshafen brachte, an der schmalen, flussartigen Stelle des Bodensees bei Constanz, durchs Fenster die scheinbar rasch vorüberlaufenden Gegenstände des benachbarten Ufers, und gleich darauf irgend eine Stelle des vor uns befindlichen Tisches fixirten, schienen sich die Adern des Holzes deutlich, wie wenn der Tisch mit einer dehnbaren Haut bedeckt wäre, eine Weile in entgegengesetztem Sinne zu verschieben. Doch wollte z. B. die entsprechende Beobachtung im *Eisenbahnwagen* zwischen Basel und Heidelberg uns *nicht* gelingen, wohl ohne Zweifel, weil dem Auge durch die fortwährenden Erschütterungen des Wagens das erforderliche ruhige, ich möchte sagen *regungslose* Fixiren eines Punktes zu sehr erschwert ward.

Es stellten sich nämlich überhaupt in Folge der erwähnten, wie der später von mir angestellten Beobachtungen *folgende sechs Bedingungen* als zum sicheren Gelingen des Versuchs unerläßlich heraus:

1) Die betrachtete Bewegung muß gleichmäßig und in gleicher Richtung andauern;

2) Sie muß im Ganzen eine ziemlich schnelle, darf jedoch *nicht so rasch* seyn, daß sie dem Auge das Unterscheiden der einzelnen bewegten Punkte unmöglich macht; — (was natürlich nicht von der absoluten, sondern nur von der *Winkelgeschwindigkeit* in Bezug auf die Stellung des Auges, also auch namentlich von der *Entfernung* der Letzteren von dem bewegten Gegenstande abhängt);

3) Sie muß eine gute Weile, — d. h. durchschnittlich wohl *eine Minute* lang, im Allgemeinen bis *beinahe* zur Er-



müdung des Auges (welche Dauer freilich für verschiedene Augen ziemlich verschieden seyn wird) betrachtet werden;

4) Das Auge muß dabei, so wie beim darauffolgenden Fixiren eines ruhenden Bildes, *selbst in (relativer) Ruhe*, und darf namentlich nicht durch zufällige Bewegungen des Körpers oder Kopfes unregelmäßig erschüttert seyn;

5) Der zu fixirende ruhige Gegenstand muß eine durch Abwechselung der Farben oder der Schattirung seiner Theile *mannichfach modificirte Oberfläche* darbieten, (wie dieß durch das Beispiel der Steinchen, Grashalme und sonstigen Ungleichheiten eines Weges, oder der von Fenstern, Thüren etc. unterbrochenen Wand eines Hauses, oder der bald helleren, bald dunkleren Adern einer Holzfläche etc. hinlänglich erläutert wird: — er darf nicht eine gleichförmige, zusammenhängende, aus ununterscheidbaren Theilen bestehende Fläche bilden);

6) Sowohl beim Betrachten des bewegten, wie des ruhenden Bildes muß das Auge unverrückt *einen bestimmten Punkt* fixiren, und darf sich also namentlich nicht verleiten lassen, im ersteren Falle der Bewegung mehr oder minder *zu folgen*, oder den Umrissen des bewegten Bildes entlang hin und her zu schweifen.

In dem nothwendigen Zusammentreffen dieser Bedingungen, und *namentlich* in der letzterwähnten, — deren Erfüllung uns bei der ursprünglichen Wahrnehmung zu Schaffhausen durch einzelne hervorragende Felszacken, oder sich stets an gleicher Stelle von Neuem bildende Schaumgipfel der Wogen *zufällig* erleichtert war, — liegt ohne Zweifel die Ursache; daß die an sich so leicht zu machende Beobachtung, — die wir für eine ganz *neue* hielten, obgleich sie dieß, wie ich aus einem Aufsätze von Plateau (Diese Annal. Bd. LXXX (1850) S. 290 später ersah, nicht ist, — nicht ohne Vergleich *häufiger gemacht wird* und im Ganzen noch so wenig bekannt zu seyn scheint (wie sie denn Allen, denen ich sie mündlich mittheilte, neu war und auch in den physikalischen Handbüchern nicht erwähnt zu werden pflegt).

Ich überzeugte mich indessen später, daß sich die Gelegenheit zu der fraglichen Beobachtung nicht so gar selten findet. So wiederholte ich dieselbe, beispielsweise, mehrmals bei dem Eisgange unseres Flusses (des Mains), indem ich das Auge standhaft auf irgend einen zwischen den treibenden Eisschollen sichtbaren unbeweglichen Punkt (auf die Spitze einer kleinen Insel oder eines Eisbrechers der Brücke etc.) richtete. Ein andermal rief ich dieselbe Augentäuschung dadurch hervor, daß ich, in gleichmäßig raschem Schritte einen durch Getreideäcker führenden Pfad verfolgend, während des Gehens den Blick eine Zeit lang in unveränderter Richtung festhielt und die Aehren oder Halme der benachbarten Saatfelder gleichsam an ihm vorüberlaufen ließ. Das Festhalten der Richtung des Auges ist freilich in diesem Falle ohne irgend eine *äußere* Beihilfe nicht ganz leicht; — doch bietet sich eine solche z. B. in dem über der betrachteten Landschaft aufgehenden Monde, dessen Bild gleichsam die Spitzen der Halme streift, oder auch in dem am fernen Horizonte mächtig emporragenden Gipfel eines Berges, den man nur recht fest ins Auge zu fassen braucht, um dann beim plötzlichen *Stillstehen* und Betrachten einer bestimmten Stelle des Bodens die scheinbare Bewegung des Letzteren aufs Unzweideutigste wahrzunehmen.

Nachdem ich so durch wiederholte Beobachtungen der beschriebenen Art die wesentlichen Erfordernisse zum Gelingen des Versuchs erkannt zu haben glaubte, war ich auf die *Construction* einer *Vorrichtung* bedacht, welche geeignet wäre, die Erscheinung jederzeit nach Willkür hervortreten zu lassen.

Ich ließ mir in der Werkstatt des hiesigen geschickten Mechanikers Hrn. August Fritz einen Apparat anfertigen, der nach einigen, zum Theil von dem genannten Techniker selbst an die Hand gegebenen zweckmäßigen Abänderungen, den gestellten Forderungen aufs Vollständigste entsprach (und dem ich einstweilen den Namen eines *Antirheoskops* beilegte).

Die Einrichtung desselben, deren Beschreibung ich hier noch in möglichster Kürze beifügen will, ist so getroffen, daß mittels derselben sowohl eine wirkliche, als auch bloß scheinbare Fortbewegung zur Erregung der fraglichen Reactionsfähigkeit des Auges benutzt werden kann.

Ein etwa  $2\frac{1}{2}'$  langes und  $1\frac{1}{4}'$  breites starkes Brett bildet die Basis eines etwa 13" hohen, soliden Gestells oder Rahmens, dessen beide, auf den kürzeren Rändern des Brettes stehende, senkrechte Seitenstücke die horizontalen Drehungsaxen von *fünf Walzen* tragen. Letztere werden mittels der an ihrem einen Ende auf gleicher Axe befestigten Rollen oder Scheiben durch das keilförmige Eingreifen eines größeren Rades (ohne Zähne), dessen gleichfalls horizontale Drehungsaxe von dem einen jener Seitenstücke des Rahmens getragen wird, und dessen Durchmesser etwa  $10\frac{1}{2}"$  beträgt, in parallele oder gleichgerichtete Umdrehung versetzt. Die fünf Walzen sind ausen mit weißem Papier bezogen und tragen auf dessen Oberfläche je zwei mit schwarzer, nicht glänzender Farbe (z. B. mit Tusche) gezeichnete *Spiralen* von je  $2\frac{1}{2}$  Windungen, so daß die der einen Spirale sich parallel zwischen denen der andern hindurchziehen, und alle Windungen oder Schraubengänge gleichweit von einander abstehen. Es besteht überdies eine jede der beiden erwähnten Schraubenlinien wieder aus *drei* Streifen, von denen der mittlere eine Breite (oder »Höhe«) von etwa  $1\frac{1}{2}"$ , und die beiden äußeren, von jenem durch einen  $\frac{1}{2}"$  breiten weißen Zwischenraum getrennten, eine Höhe von  $\frac{1}{2}"$  haben, während der weiße Zwischenraum, welcher einen dieser dreifachen schwarzen Streifen vom nächstfolgenden trennt, wiederum  $1\frac{1}{2}"$  mißt; — so daß die ganze Zeichnung ebenso gut als eine *weiße* auf *schwarzem* Grunde, wie als eine schwarze auf weißem Grunde betrachtet werden kann, und beide sich einander völlig gleichen. Die Walzen selbst liegen so dicht an einander, daß sich ihre Oberflächen *beinahe* berühren: doch muß, wegen der beabsichtigten gleichzeitigen und gleichgerichteten Umdrehung, jede *wirkliche* Berührung vermieden

werden, und die Cylinderfläche daher in der Richtung der Axe durchaus *geradlinig* seyn — und *bleiben*, weshalb die Walzen entweder aus Metall, oder (wie bei meinem Apparat) aus starker, genau cylindrisch gekrümmter Pappe (nicht aber aus Holz, welches sich leicht krumm zieht) gefertigt seyn müssen.

Durch die mittelst des beschriebenen gemeinschaftlichen Triebrades bewirkte Umdrehung der fünf Walzen wird nun in Bezug auf die gestreifte Oberfläche der Letzteren die bekannte optische Täuschung hervorgebracht, die man auch beim Umdrehen eines Bohrers, oder irgend einer andern cylindrischen, oder konischen Spirale wahrnimmt, daß nämlich das Auge die *drehende* Bewegung ganz übersieht und dafür nur eine *fortschreitende* im Sinne der Drehungsaxe erblickt, so daß die ganze oben beschriebene schwarz und weiße Zeichnung sich in horizontaler Richtung gleich den Wellen eines Stromes fortzubewegen scheint.

Um dabei auch *den* Umstand möglichst nachzuahmen, daß der mittlere Theil des Stroms sich schneller bewege, als die Ränder (wie diess ja bei unserer ursprünglichen Beobachtung an den »Lechen« bei Schaffhausen der Fall war), wurden zwar die fünf Walzen selbst von *gleicher Dicke* (nämlich etwa  $2\frac{1}{2}$ " im Durchmesser), dagegen die am Ende ihrer Axen befindlichen concentrischen Scheiben oder Rollen, deren Ränder in das gemeinschaftliche Triebrad eingreifen, von *ungleicher* Gröfse gemacht, so zwar, daß die Durchmesser dieser Rollen, von der mittleren nach den beiden äußersten hin, von  $1\frac{3}{4}$ " auf  $2\frac{1}{3}$ " zunehmen, wodurch natürlich die in allen Theilen *gleichschnelle* Bewegung des Randes jenes Triebrades für die *Walzen* in eine ungleiche verwandelt, und somit die ungleich fortschreitende Bewegung der Wellen eines Stromes um so genauer wiedergegeben wird.

Damit ferner das Auge die fünf Walzen mit Bequemlichkeit gleichzeitig übersehen könne, sind dieselben so geordnet, daß sie an der vorderen, dem Beschauer zugekehrten Hälfte der Peripherie jenes Triebrades über ein-

ander, d. h., dafs ihre fünf Axen selbst in einer schwach gekrümmten, nach vornhin convexen Cylinderfläche liegen. Diese (metallenen) Axen sind, weil das erwähnte Eingreifen des Triebrades *ohne Zähne*, durch blofse keilförmige Ränder, eine ziemlich bedeutende und andauernde Reibung voraussetzt, mittelst starker Stahlfedern gegen den Rand jenes Rades angedrückt.

Das Letztere wurde bei den ersten Versuchen blofs mit der Hand (an einer einfachen Kurbel) umgedreht. Es zeigte sich aber bald, dafs auf diese Weise zwar die erforderliche *Schnelligkeit* der Bewegung sehr leicht, nicht aber die ebenso nothwendige *Gleichmäfsigkeit* derselben zu erreichen war. Da nämlich die Hand sich wegen der sogenannten »todten Punkte« auch bei aller angewandten Sorgfalt nie auf längere Dauer gleichmäfsig im Kreise bewegen läfst, so wurde dadurch auch die scheinbare Strömung der beschriebenen Wellenzeichnung auf den Walzen stets in eine mehr oder minder *ruckweise* erfolgende Bewegung umgewandelt, was sich für den beabsichtigten Effect nicht vortheilhaft erwies. Auch das hierauf versuchte Befestigen der Kurbel an eine der fünf *Walzen selbst* zeigte sich, theils wegen der vermehrten Reibung, theils auch wegen der dadurch bewirkten Ungleichheit der Letzteren in Bezug auf die andrückende Stahlfeder, als nicht praktisch; so dafs ich es vörozog, nach dem Rathe des Mechanikers das grofse Triebrad auf seinem Rande mit (zu seiner Fläche senkrechten) Stiften zu versehen und durch ein im oberen Theile des Rahmens angebrachtes kleines messingenes Getriebe, welches nun die Kurbel trägt, in Bewegung zu setzen.

Man mufs zwar jetzt die Letztere weit rascher umdrehen, als bei der ursprünglichen Einrichtung, allein die Ungleichheiten der Handbewegung sind dadurch auch auf weit kürzere Zeitintervalle zusammengedrängt und werden so für das Auge minder bemerklich.

Um endlich auch der oben erwähnten *sechsten Grundbedingung* zum Gelingen des Versuches, die sich als eine

sehr wesentliche herausstellte, in gehöriger Weise zu genügen und dem Auge gleichsam einen Haltpunkt darbieten, den es während der fortschreitenden Bewegung jener Welten fixiren könne, ist auf dem vorderen Rande des als Basis dienenden Brettes ein *lothrechter Draht* von  $5\frac{1}{2}''$  Höhe angebracht, dessen oberes Ende, dicht vor der *mittleren* der fünf Walzen — und zwar auch der *Länge* nach vorderen Mitte — stehend, irgend einen kleinen, intensiv gefärbten Körper, im vorliegenden Falle ein flaches, rautenförmiges Holztäfelchen (in Gestalt der Spitze eines Blitzableiters) von kaum  $\frac{1}{2}''$  Breite und  $\frac{3}{4}''$  Höhe trägt, auf welches der Betrachter seinen Blick zu richten hat. Nun zeigt sich aber bei diesem, wie bei vielen ähnlichen optischen Versuchen, daß zu einem solchen *beharrlichen* Richten des Blickes auf einen bestimmten Punkt, namentlich mitten unter bewegter Umgebung, eine gewisse Selbstbeherrschung gehört, die nur durch einige Uebung erlangt wird und daher in der Regel nur dem mit solchen Untersuchungen schon vertrauteren eigen ist; — daß insbesondere auch hier, trotz des vorhandenen festen Punktes, das Auge des ungeübten Beobachters sich noch immer leicht verleiten läßt, diesen Punkt auf Augenblicke zu verlassen und dem *bewegten* Bilde zu folgen, wie denn überhaupt das *Bewegliche* stets mehr Reiz, gleichsam mehr Interesse für das Auge hat, als das Ruhende <sup>1)</sup>. Um daher auch in dieser Beziehung das Gelingen des Versuchs zu erleichtern, ist auch jener »feste Punkt«, — oder vielmehr der seine Stelle vertretende, stets in der Mitte des Gesichtsfeldes zu erhaltende kleine Körper, *selbst beweglich* eingerichtet. Es bildet nämlich der kaum erwähnte, die kleine Rautenfläche

1) So ist es ja z. B. eine leicht zu beobachtende Thatsache, daß *solche* indirect gesehene Punkte des Netzhautbildes, welche *sehr weit* von der Augenaxe entfernt liegen und sich überdies nicht durch besondere Intensität der Beleuchtung auszeichnen, ebendeshalb oft eine lange Zeit hindurch gar nicht zum Bewußtseyn kommen, — in dem Augenblicke aber, wo sich einer dieser Punkte *bewegt*, ganz *plötzlich* nicht nur die Aufmerksamkeit rege machen, sondern auch mit fast unwiderstehlicher Gewalt die Augenaxe auf sich lenken.

tragende verticale Draht die verlängerte Axe einer an seiner Basis befindlichen horizontalen Messingscheibe oder Rolle (von beinahe 2" Durchmesser), und diese Letztere wird durch einen sie in einer Rinne umschließenden Faden ohne Ende in *langsame Rotation versetzt*, — welcher Faden wiederum, von einer einwärts gerichteten Verlängerung der Axe des mehrerwähnten Triebrades herkommend und mittelst zweier kleinen Rollen aus seiner anfangs verticalen Richtung in die horizontale übergehend, mit diesem Rade zugleich (nur ohne Vergleich langsamer) bewegt wird. Es kommt hierdurch auf je 18 Umdrehungen der Kurbel, oder, was dasselbe ist, auf 3 Umläufe des großen Triebrades, je *eine* Umdrehung des kleinen, rautenförmigen Täfelchens, welches auf seiner einen Fläche intensiv hellgrün, auf der andern roth gefärbt ist, und so, durch jene langsame Bewegung bald diese, bald jene Seite nach vornhin kehrend, dem Auge eine hinlängliche Beschäftigung gewährt, um es trotz des Vorübereilens der benachbarten Wellenbilder dauernd zu fesseln <sup>1)</sup>.

- 1) Es ist dieß, beiläufig bemerkt, ein Kunstgriff, dessen ich mich in ähnlicher Weise schon seit vielen Jahren bei den allbekannten Versuchen über die gefärbten subjectiven Spectra bediene, bei welchen ja *auch* die Mehrzahl der ungeübten Beschauer — zwar die complementäre Färbung —, aber nicht die deutliche, scharfbegrenzte *Gestalt* des Bildes wiederfindet, — aus dem oben angedeuteten Grunde: weil es nämlich vielen Menschen schwer fällt, einen Gegenstand anders, als durch unstätes Umhereilen des Blicks *auf dessen Umrissen* zu betrachten, was gerade hier die Wirkung in so auffällender Weise stört. Ich erlaube mir deshalb bei dieser Gelegenheit die höchst einfache (von demselben Mechaniker Fritz dahier gefertigte) Vorrichtung kurz zu beschreiben, welche ich zur Erlangung scharf begränzter Nachbilder anzuwenden pflegte. Eine vierseitige, abgestumpfte Pyramide von Holz, deren quadratische Basis etwa 14" in Länge und Breite, und deren Höhe etwa 7" messen mag, ist um einen, auf einem horizontalen Brette von kaum größeren Dimensionen befestigten, senkrechten Holzapfen *drehbar*, und mittels einer Feder und einer um den Zapfen geschlungenen Schnur (in höchst einfacher Weise) so eingerichtet, daß das bloße Ausheben eines an der Seite der unbeweglichen Basis befindlichen kleinen hölzernen *Hebels* hinreicht, den ganzen Pyramidenstumpf plötzlich um eine Viertelswendung in horizontalem Sinne umzudrehen und dann in der neuen Lage



Bei dem bis dahin beschriebenen Theile des Apparates ist es die *scheinbar fortschreitende* Bewegung der auf den Walzen befindlichen Spiralen, welche zur Erregung der in Rede stehenden Reactionsthätigkeit des Auges benutzt wird.

festzuhalten, so daß beispielsweise diejenige Quadratseite der Pyramidenbasis, welche vorher mit einer Seite der unbeweglichen Grundfläche coincidirte, nunmehr auf ihr perpendicular steht, — d. h., kürzer ausgedrückt, daß je eine der vier schrägen, pultförmigen Seitenflächen der Pyramide mit der nächstfolgenden *vertauscht* wird. Die *erste* dieser zwei ihre Stellen wechselnden Flächen trägt (mittels einer unten hervorragenden schmalen Holzleiste) das *erregende Bild*, also z. B. ein auf Pappe geklebtcs aufrechtes Kreuz, einen Ring, einen Halbmond etc. von intensiv orangegelbem (aber *nicht glänzendem*) Papier; — die *zweite* dagegen ist mit einer einfachen, blaßgrau bezogenen Pappe von gleicher Gestalt und GröÙe bedeckt, aus deren Fläche dann plötzlich, bei *unveränderter* Stellung des Beobachters, das complementäre, *blaue* Kreuz etc. zum Vorschein kommt. Um nun aber das für *beide* Fälle nöthige *Fixiren eines bestimmten Punktes* zu erleichtern, ist die Mitte *beider* schrägen Seitenflächen des Pyramidenstumpfs (und zwar sowohl das Holz, als die darauf zu legenden verschiedenen Pappscheiben) *durchbohrt*, und die Durchbohrung (von kaum  $1\frac{1}{2}$ ''' Durchmesser) von einem cylindrischen Messingstifte ausgefüllt, dessen vordere, eben abgefeilte Grundfläche mit der Vorderfläche der zu betrachtenden Bilder in gleicher Ebene liegt, und überdiß in zwei ganz kleine Halbkreise zerfällt, deren einer schwarz, der andere weiß gefärbt ist. Die in den inneren Raum der (*hohlen*) Pyramide hineinragende Verlängerung der beiden Messingstifte trägt dort einen einfachen hölzernen Handgriff, vermittlest dessen sie durch die Hand des Experimentators in beliebiger Richtung *langsam* umgedreht werden kann, — (zu welchem Zwecke die beiden andern, nicht benutzten Pyramidenflächen *fehlen*, so daß man bequem ins Innere der Pyramide hineinreichen kann). Das Auge des Betrachtenden erblickt auf diese Weise inmitten der angeschauten farbigen Figur, sowie auch ihres Nachbildes, einen runden, zur Hälfte schwarzen, zur Hälfte weißen *Punkt*, der sich *langsam undrehet*, und dessen Umdrehungen man den Beschauer z. B. *zählen* läßt, was seinem Auge eine hinlängliche Beschäftigung gewährt und dasselbe nöthigt, lange genug an gleicher Stelle zu verweilen. — Auch der ganz Ungeübte sieht auf diese Weise die complementären Spectra in erstaunenswerther Schärfe und Deutlichkeit ihrer Umrisse, welche Schärfe auch dann nicht merklich verliert, wenn er den Blick z. B. nach der *Wand* oder der *Zimmerdecke* richtet und dort die betreffende Figur in riesenhaftern Maafstabe erblickt.



Um aber auch eine *wirklich fortschreitende* Bewegung in bequemer Weise dazu verwenden zu können, liefs ich an der *Rückseite* desselben Holzgestells, welches vorn jene Walzen trägt, noch eine zweite Vorrichtung anbringen. Diese besteht im Wesentlichen in einem um zwei *aufrecht stehende* Walzen laufenden Bande »ohne Ende«, von starkem Papier und etwa 10" breit. Die beiden hölzernen, auf ihrer Oberfläche etwas rauhen Walzen haben einen Durchmesser von etwa  $2\frac{1}{3}$ " und eine der Breite jenes Papierstreifens entsprechende Länge, überragen denselben jedoch, um sein Herabgleiten während der Drehung zu verhüten, oben und unten mittels eines schmalen, etwas erhabenen Randes, und stehen (mit ihren Axen) etwa 2' weit von einander ab. Das Papierband, welches leicht durch wiederholtes Anstreifen an jene hervorragenden Ränder verletzt werden könnte, ist durch eine schmale Einfassung von seidenem Bande dagegen geschützt. Seine ganze (nach Aufsen gewendete) Oberfläche ist mit einer in grünlichen, bläulichen und weifslichen Farben ausgeführten Zeichnung bedeckt, welche die Wellen eines Stroms (von *oben gesehen*) nachzuahmen sucht und, beim Umdrehen einer der beiden Walzen mittelst einer an ihrem oberen Ende befindlichen Kurbel, den Zwischenraum zwischen jenen fortwährend in gerader, horizontaler Richtung durchläuft. Um dabei den Papierstreifen bei etwaiger Dehnbarkeit desselben stets gleichmäfsig angespannt und die zu seiner Bewegung erforderliche Reibung an der Oberfläche der Walzen in der nöthigen Stärke zu erhalten, ist die Axe der einen dieser Walzen oben und unten in einem besonderen, *verschiebbaren Theile* des Rahmens befestigt, welcher durch eine starke Spiralfeder nach Aufsen gedrückt wird. Die nöthige Fixirung des Blickes ist auch hier durch ein dem oben beschriebenen ähnliches rautenförmiges, bunt gefärbtes Holzblättchen bewirkt, welches, gleich jenem auf einem etwa  $5\frac{1}{2}$ " hohen Drahte mitten vor dem bewegten Wellenstreifen stehend, mittels einer an der Basis befindlichen Messingrolle und eines sie umschlingenden, von der

Axe der einen verticalen Walze herkommenden Fadens in ganz langsame Rotation (um seine lothrechte Diagonale) versetzt wird.

Um endlich ein geeignetes *ruhendes* Object zu haben, welches der durch jene bewegten Bilder der einen oder andern Art angeregte Blick unmittelbar darauf fixiren soll, stelle ich in der Nähe des beschriebenen Apparates eine starke Pappe von etwa 28" Länge und 20" Höhe lothrecht auf, die auf ihrer vorderen, dem Beobachter zugekehrten Fläche irgend eine geeignete Zeichnung trägt. Ich wählte dazu, beispielsweise, das in weißer Farbe ausgeführte Bild einer mehrfachen, verlierenden Schicht leichter, kleiner Cirruswölkchen (jedes etwa von der Gröfse eines Zweithalerstücks) auf intensiv himmelblauem Grunde, und brachte, um auch hier die Richtung des Blickes auf einen bestimmten Punkt zu erleichtern, ungefähr in der Mitte der Pappe die Figur eines fliegenden Vogels, oder eines kleinen Luftballons (von kaum 1" Durchmesser, in abstechender Farbe ausgeführt) an, auf welche der Betrachtende *unverwandt* hinzusehen hat.

Die *Anwendung* des beschriebenen »Antirrheoskops« er giebt sich nach dem oben Gesagten ziemlich von selbst. Man läßt den Beobachter eine der zwei kleinen, farbigen Rautenflächen fixiren (und z. B. deren Umdrehungen *zählen*), während man die zugehörige Kurbel möglichst gleichmäfsig in Bewegung setzt. Nach Ablauf etwa *einer Minute* hat er dann den in der Mitte jener weissen Cirruswölkchen (oder welche Zeichnung man sonst, nur stets mit Berücksichtigung der oben angeführten *fünften* Grundbedingung, gewählt haben mag) befindlichen *festen Punkt* (Luftballon etc.) eine Weile ruhig anzublicken, um dessen Umgebung einige Sekunden lang in der entschiedensten *Bewegung* begriffen zu sehen, deren Richtung der des vorher betrachteten Bildes entgegengesetzt ist.

Einen erheblichen Unterschied zwischen den Wirkungen bei Anwendung der nur scheinbaren und der wirklich fortschreitenden Bewegung konnte ich, — wie diefs denn

auch kaum anders zu erwarten war, — nicht wahrnehmen; — obgleich sich im vorliegenden Falle bei der einen alle Punkte mit *gleicher*, bei der anderen mit unter sich *ungleicher* Geschwindigkeit fortbewegen. — Die Betrachtung der *Walzen* etc. ist freilich für das Auge etwas anstrengender, als die des bemalten Papierbandes; dagegen haben sie den Vorzug der gleichmäßigeren Bewegung.

Ein *sehr wichtiger* Punkt bei der Hervorrufung des besprochenen Phänomens ist, wie mir meine Versuche gezeigt haben, das Treffen der geeigneten *Geschwindigkeit* der ursprünglichen Bewegung (— also der Umdrehung der Kurbel). Denn die Gröfse des beabsichtigten Effectes nimmt, wenn man diese Schnelligkeit von einem Minimum an wachsen läfst, *Anfangs* deutlich mit derselben zu, — aber nur bis zu einer gewissen Gränze, von welcher an sie, bei noch gröfserer Drehungsgeschwindigkeit, ziemlich rasch wieder abnimmt. Dabei ist, wie oben bei der *zweiten* Grundbedingung schon angedeutet worden, die *Entfernung* des Betrachtenden von der bewegten Fläche nicht gleichgültig. *Je näher er sich bei derselben befindet, um so langsamer muß man umdrehen*, und die Nichtbeobachtung dieser Regel kann die Gröfse der gewünschten Wirkung bis zur *Unmerklichkeit* herabstimmen. Ich finde, dafs (für *meine* Augen und die einiger Andern, mit welchen ich Versuche angestellt) bei einer Entfernung von einigen Fufs (etwa 5 bis 6) die Anzahl von 40 bis 45 Umdrehungen der vorderen (mit horizontaler Axe versehenen) und die von 60 bis 70 Umdrehungen der oberen (verticalen) Kurbel in der Minute ziemlich als Maximum gelten kann. Doch wird sich die passende Geschwindigkeit bei Berücksichtigung der obigen allgemeinen Regel für jedes Auge am Leichtesten durch ein Paar Versuche ermitteln lassen.

Etwas ganz Aehnliches gilt auch in Bezug auf die zweckmässigste *Dauer* der anregenden Bewegung. Auch hier scheint es ein Maximum zu geben, welches nicht ohne Minderung des Erfolgs überschritten werden darf, und welches noch ziemlich weit diesseits derjenigen Gränze zu lie-

gen scheint, bei welcher eine völlige Abstumpfung oder *Ermüdung* des Auges eintritt. Doch wird *diese* Dauer *ohne Zweifel* für verschiedene Augen innerhalb gewisser Gränzen verschieden seyn, wie sich ja ein gleicher Unterschied auch bei Hervorrufung der complementären Farbenspectra kund zu geben pflegt. (Für *mein*, freilich sehr reizbares Auge z. B. genügen, bei ganz *geringer* Entfernung von den fünf Walzen, schon 18 bis 20 ganz langsame Umdrehungen der Kurbel zur unverkennbaren Hervorrufung der fraglichen Reaction.)

Nicht minder wesentlich, als die Einhaltung der richtigen Schnelligkeit und Dauer der Bewegung, ist es endlich, daß beim Anschauen des ruhenden Bildes jede *wirkliche* Veränderung seiner Lage gegen das Auge, also namentlich jede zufällige Verschiebung oder Erschütterung des einen *oder des andern*, jede Bewegung des Kopfes, selbst bei unverwandtem Auge etc. sorgsam vermieden werde, weil der Eindruck einer solchen *wirklichen* Verschiebung des Netzhautbildes oder seiner Umgebung jedesmal, als ein bei Weitem stärkerer, den der zu beobachtenden *scheinbaren* Bewegung verdeckt und unmerklich macht.

Ich bemerke noch, daß man die aufgestellte Pappe mit der ruhenden Zeichnung zur Noth auch ganz entbehren kann, und statt ihrer Anwendung nur die Bewegung der beschriebenen Wellenfiguren *plötzlich zu unterbrechen* braucht, so daß die nunmehr stillstehenden Bilder *selbst* als ruhendes Object die in Rede stehende Erscheinung zeigen. Ich erinnere mich, daß bei den ersten angestellten Versuchen einige der Beobachter, welche versäumten, recht zeitig nach dem ruhenden Bilde hinüberzublicken, ausriefen, sie sähen die (nunmehr stillstehenden) Wellen rasch rückwärts gehen.

Daß ganz Aehnliches auch bei *nicht* paralleler, sondern divergenter (z. B. centrifugaler) Bewegung, wenigstens für manche Augen, stattfindet, zeigte mir eine bereits vor 5 bis 6 Jahren gemachte vereinzelte Beobachtung, (als Plateau's interessanter, in den Annalen Bd. LXXX (1850) S. 289 ff. beschriebener Versuch entweder noch nicht zur

Kenntniß des deutschen Publikums, oder wenigstens nicht zur meinigen gelangt war). Ich zeigte damals in dem hiesigen physikalischen Vereine eine kleine Sammlung optisch-chromatischer Vorrichtungen (meist Veranschaulichungsmittel zum Zwecke des Unterrichtes), und unter Anderm auch eine auf weiß bezogene Pappe gezeichnete *archimedische Spirale* aus rothen, auf beiden Seiten gelb gesäumten Linien vor, deren etwa 14 Windungen kaum  $\frac{1}{2}$  Zoll von einander abstehen, und die, mittels einer kleinen Vorrichtung in rasche Umdrehung versetzt, das täuschende Bild concentrischer, in centrifugaler (oder, bei entgegengesetzter Bewegung, in centripetaler) Bewegung begriffener, *kreisförmiger Wellen* darbietet. Als nun die sich z. B. fortwährend *vergrößernden* Wellen plötzlich stille standen, machte eines der anwesenden Mitglieder von freien Stücken die Bemerkung, dieselben *schiene ihm jetzt plötzlich wieder kleiner zu werden*, d. h. sich dem Centrum zu nähern.

Als ich später den erwähnten Plateau'schen Versuch kennen lernte, ahmte ich auch diesen, im Ganzen mit dem von seinem Urheber geschilderten Erfolge, nach. Nur fand ich, daß die von dem genannten Physiker ausdrücklich geforderten (und durch die zugehörige Abbildung veranschaulichten) *Modificationen* der Spirale im Vergleiche mit der vorher von ihm beschriebenen, — nämlich die *viel weiteren* Schraubengänge, der *vollständig schwarze* Grund und die *raschere Bewegung* — (siehe Annalen Bd. LXXX, S. 289) nicht nur nicht unumgänglich, sondern nach meinen Versuchen dem Erfolge nicht einmal förderlich sind. Ich fand vielmehr, daß man die nach Plateau's Zugeständnisse (a. a. O., S. 290) bei dem Versuche eintretende, sehr merkliche und lästige *Ermüdung* des Auges *dadurch* bedeutend mäßigen kann, daß man *erstlich* nicht Schwarz und Weiß, überhaupt nicht zwei zu sehr contrastirende Farben, sondern z. B. für die Spirallinie selbst ein blasses Graulichgelb, und für den Grund ein mäßig dunkles Grau, — und daß man *zweitens* eine *viel engere* Spirale mit weit zahlreicheren Windungen, als die Plateau'sche, anwendet,

die man auch *nur langsam* umzudrehen braucht. (Die erstere Bemerkung, in Betreff der Farben, läßt mich vermuthen, daß ich auch bei dem oben beschriebenen Walzenapparate besser gethan haben würde, statt Schwarz und Weiß ein blasserer und ein dunkleres *Grau* anzuwenden; denn auch hier ist, namentlich bei mehrfacher Wiederholung des Versuchs, die ermüdende Anstrengung des Auges sehr bemerklich). Am Besten gelang es mir mit einer Scheibe von 20" Durchmesser, welche 7 bis 8 Spiralwindungen enthält, so zwar, daß die bloßen Streifen eine Breite von  $\frac{1}{4}$ " haben und durch dunkelgraue Zwischenräume von 1" Breite getrennt sind: wenigstens war, wenn ich die Wirkung dieser Scheibe mit der einer andern, *genau* nach Plateau's Vorschrift angefertigten verglich, der Vortheil immer sehr entschieden auf Seite der ersteren. — Auch bei diesem Versuche bewährte sich übrigens der zwischen weißen Cirruswölkchen schwebende kleine Luftballon (oder Vogel) als ein sehr geeignetes ruhendes Object. Blickt man denselben, nachdem die Spiralscheibe etwa 100 Umdrehung mit *ganz mäßiger* Geschwindigkeit gemacht hat, ruhig an, so scheinen, wenn z. B. die wellenartige Bewegung der blassen Ringe eine *centripetale* gewesen, die weißen Wölkchen eine gute Weile von dem fixen Punkte aus *nach allen Seiten hin auseinander zu weichen* und sich zu vergrößern, — was in meinem Auge (aber freilich nicht in dem aller Andern, welche die Beobachtung mit mir machten) *genau die Wirkung* hervorbringt, als ob die ganze Masse jener Wölkchen in rascher Bewegung dem Auge *näher rückte* (ohne Zweifel, weil ihr Sehwinkel zu wachsen scheint), so daß die Pappe, welche die Zeichnung trägt, sich manchmal förmlich zu biegen oder zu wölben und ihr mittlerer Theil entschieden mehr und mehr hervorzutreten schien. Das entgegengesetzte Resultat liefert natürlich die umgekehrte Drehungsrichtung der Scheibe: die Wölkchen scheinen sich hinter dem kleinen Luftballon etc. in rascher Flucht *zurückzuziehen*. Auch die von Plateau angeführte scheinbare *Vergrößerung des Kopfes* einer Person konnte

ich mittelst der letztbeschriebenen Scheibe nach Belieben hervorrufen; nur muß man hierbei, wenn die Täuschung recht vollkommen seyn soll, nicht bloß beharrlich einen bestimmten Punkt des Gesichts, z. B. die Nasenspitze, fixiren, sondern auch eine ganz bestimmte *Entfernung* von demselben einhalten, weil sich sonst die scheinbare Vergrößerung leicht auch auf die nächste Umgebung jenes Kopfes (auf eine Stuhllehne etc.) erstreckt.

Was schliesslich die *Theorie* der in Rede stehenden Erscheinungen betrifft, so wage ich darüber um so weniger ein entschiedenes Urtheil auszusprechen, als dieselben offenbar *zum Mindesten* ebenso sehr dem Gebiete der Physiologie, wie dem der eigentlichen, rein physikalischen Optik angehören. Nur scheinen dieselben allerdings auch mir ein nicht unerhebliches Gewicht zur Entscheidung der *vielbesprochenen Streitfrage* in die Waage zu legen, ob nämlich die mehrerwähnten complementär gefärbten *Nachbilder* einer bloßen *Abstumpfung der Sensibilität* des Auges für den speciellen, andauernd empfangenen Farbeindruck und einem dadurch bedingten Hervortreten der von dem (dann freilich unumgänglichen (*objectiven Weis*s) noch übrigbleibenden Complementärfarbe, — oder aber, ob dieselben (wie Plateau will) einer *selbstständigen Reactions-thätigkeit* des Auges zuzuschreiben seyen, vermöge welcher dieses jedem *beliebigen* Gesichtseindrucke einen bei längerer Dauer wachsenden *Widerstand* entgegensetzt, und somit beim Aufhören des Eindruckes nur dadurch seinen normalen Zustand wieder zu gewinnen vermag, daß es, gleich einem Pendel oder einer Springfeder, die Ruhelage *nach entgegengesetzter Seite überschreitet etc.* (s. den mehrerwähnten Aufsatz Plateau's in diesen Annalen Bd. LXXX, S. 291 ff.) Wie sehr die hier geschilderte Beobachtung für *letztere* Ansicht spricht, braucht wohl nicht erst ausführlicher erörtert zu werden. Nur würde freilich demnächst die Frage entstehen, was man sich, *physikalisch* betrachtet, unter der „*Ruhelage*“ des Auges in Bezug auf bewegte Netzhautbilder vorzustellen habe — (doch wohl nicht



eine wirkliche Bewegung der feinsten Theilchen der Retina selbst nach bestimmter Richtung hin? —).

Ob andererseits vielleicht die Annahme zulässig sey, daß die (durch hundertfältige Beobachtungen als unbestrittene *Thatsache* dastehende) so genannte *Impressio remanens*, — die dann ohne Zweifel, nach Plateau'scher Auffassung, nur als die erste, noch *diesseits* der Ruhelage liegende *Halbschwingung* jener oscillatorischen Bewegung des Organs anzusehen wäre, — dabei in *der* Art eine Rolle übernehme, daß etwa das Auge, eine Zeit lang ein sich in gleicher Richtung fortbewegendes Spectrum bewahrend, die einzelnen Punkte der sofort angeschauten *ruhenden* Fläche durch bloße unwillkürliche *Vergleichung* mit diesem (nicht zum Bewußtsein gelangenden) bewegten Spectrum als ihre Lage ändernd erblickte, wage ich gleichfalls nicht zu entscheiden. Die Versuche, die ich zur Nachweisung eines solchen, etwa vorhandenen *bewegten Spectrums* angestellt, — indem ich unmittelbar nach dem Fixiren der rotirenden Spiralscheibe entweder eine völlig gleichfarbige und möglichst schattenlose Wand anblickte, oder auch die Augen plötzlich schloß, und sorgfältig mit den Händen bedeckte, — lieferten kein befriedigendes Resultat. Ich sah in beiden Fällen meistens *gar Nichts*, und nur im letzteren *zuweilen*, wenn z. B. die scheinbare Bewegung der Scheibe eine centrifugale gewesen, ein eigenthümliches, nur sehr kurz andauerndes und auffallend rasches, strahliges *Zusammenschrumpfen* des für einen flüchtigen Augenblick noch nicht ganz lichtlos gewordenen Gesichtsfeldes, — also in keinem Falle eine Fortdauer der vorher angeschauten Bewegung.

Noch muß ich endlich hinzufügen, daß es eine allbekannte und ganz alltägliche Erscheinung giebt, die wenigstens auf den ersten Blick als wesentlich gleichbedeutend mit der hier besprochenen erscheinen kann, und ohne Zweifel auch mit ihr in gewissem Zusammenhange stehen mag; ich meine die bekannte Wirkung des sogenannten *Schwindels*, in Folge deren die mehrmalige rasche Umdrehung des Kopfes nach plötzlichem Anhalten eine scheinbare entgegengesetzte



Drehung der ganzen sichtbaren Umgebung hervorruft. Dafs es hier die *Gesamtheit* aller gesehenen Objecte, und dort nur ein verhältnismäfsig schmaler *Streifen* ist, der sich zu bewegen scheint, würde sich ja einfach daraus erklären, dafs beim Umdrehen des Kopfes (oder vielmehr des ganzen Körpers) eben *alle* Netzhautbilder ihre Lage gegen die Augenaxe ändern, also *alle* in relativer Bewegung begriffen sind, — während in den oben beschriebenen Versuchen diese Bewegung nur einem verhältnismäfsig kleinen *Theile* des Gesichtsfeldes angehört. *Dieser* Unterschied wäre also nur ein scheinbarer. Dagegen scheint mir eine andere, *wirkliche* Nichtübereinstimmung zwischen jenen Versuchen und dem kaum erwähnten Schwindelssymptome *darin* zu liegen, dafs, abgesehen von seiner spontanen Entstehung in krankhaften Zuständen, die mehrmals wiederholte Umdrehung des Kopfes denselben Erfolg auch *ohne* wirkliche Verschiebung der Netzhautbilder, ja ohne alles *Vorhanden-seyn* derselben herbeiführt. Dann drehe ich mich (— und bei Andern wird's nicht anders seyn —) mit *fest verschlossenen* und überdies noch sorgsam mit der Hand bedeckten Augen fünf- oder sechsmal rasch im Kreise herum, so erblickt das im Momente des Stillstehens erst wieder geöffnete Sehorgan die ganze Umgebung in nicht minder lebhaftem Tanze begriffen, als wenn ich sie vorher mit offenem Auge angeschaut. Es liegt also hier ein rein physiologischer Vorgang vor, dessen genügende Erklärung einem für den Optiker minder zugänglichen Gebiete der Naturwissenschaften zugewiesen bleiben mufs.

III. *Die Hypothese: die Wärme, ein Product aus Temperatur und mechanischer Kraft, und die Theorie der Aequivalenz von Wärme und Arbeit;*  
*von v. Seydlitz.*

Es ist in einem früheren Aufsätze für die Wärmemenge  $W$  in der Masseneinheit der Luft der Ausdruck abgeleitet worden:

$$W = \frac{naT^2}{\gamma},$$

in welchem  $T$  die absolute Temperatur  $273^\circ \pm$  Grade C.,  $\gamma$  die Dichte der Luft,  $n$  eine beliebige Constante und  $aT = e$  die mit der Schwere vergleichbare, jedem Luftatom innewohnende Kraft, welche die spezifische Expansivkraft genannt werden möge, bedeutet. Bei der Ableitung dieses Ausdrucks hat die Vorstellung von der Wärme als einer Gröfse zweier Dimensionen vorgelegen, als einer Schwingungsintensität, deren eine Dimension einen mechanischen Effect hervorbringt, die andere dagegen denjenigen Zustand, welchen wir Temperatur nennen. Das Integral der Schwingungsintensität nach dem Volumen wird als die Wärmemenge angesehen, so dafs, soll letztere von der Volumenänderung unabhängig bleiben, die Intensität sich umgekehrt wie das Volumen verhalten mufs. Dieser Vorstellung liegt die Analogie der Wellenbewegung an der Oberfläche des Wassers in einem Gefäfse nahe; wird die Oberfläche vergrößert, so verlieren die Wellen an Schwingungsweite.

Daraus folgt denn, dafs die Wärmemengen, welche gleiche Wirkungen in gleichen Luftmassen hervorbringen sollen, sich wie die Volumina oder umgekehrt, wie die Dichten der Massen verhalten müssen. Hiernach hat man stets in der von Luft erfüllten Raumeinheit:

$$W = naT^2.$$

Man habe nun ein einfaches, dem Mariotte'schen

Gesetz unterworfenen Gas, dessen Dichte bei gleicher Temperatur und gleichem Druck mit der Luft  $\gamma_1$  sey, so hat man:

$$p = a_1 \gamma_1 T = a \gamma T,$$

folglich:

$$a_1 \gamma_1 = a \gamma.$$

Setzt man  $a_1 T = e_1$ , so hat man die Proportion:

$$e_1 : e = \gamma : \gamma_1.$$

Sind  $w_1$  und  $w$  die Wärmemengen jedes Atoms respective des einfachen Gases und der Luft, so muß wegen der Proportionalität von Ursache und Wirkung seyn:

$$w_1 : w = e_1 T : e T = \gamma : \gamma_1.$$

Man hat aber auch für die Wärmemenge in der Raumeinheit:

$$W_1 : W = w_1 \gamma_1 : w \gamma,$$

folglich:

$$W_1 = W = n a T^2,$$

d. h. die auf die Raumeinheit bezogenen specifischen Wärmen der einfachen Gase sind einander gleich, und die specifischen Wärmen, auf die Masseneinheit bezogen, verhalten sich umgekehrt wie die specifischen (Atom-) Gewichte.

Man habe ferner zwei Raumeinheiten der beiden einfachen Gase  $N$  und  $O$ , beide von gleicher Temperatur, das erste von der Dichte  $\gamma_1$ , das andere von der Dichte  $\gamma_2$ , und mische sie in der Raumeinheit, so läßt sich der Vorgang in zwei Theile zerlegen:

1) Es erhält jedes Atom der Mischung gleiche Wärmemenge.

2) Es findet eine gegenseitige Verdichtung der Gase statt.

Bei der Wärmevertheilung erhält das Gas  $N$  die Wärmemenge:

$$2 n a T^2 \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2}.$$

In Folge dessen wird die Temperatur dieses Gases:

$$T \sqrt{\frac{2 \gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2}}.$$

Durch die Verdichtung bei derselben Wärmemenge erhöht sich diese Temperatur auf:

$$T \sqrt{\frac{2\gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2}} \sqrt{\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_1}} = T \sqrt{2}.$$

Zu demselben Resultat gelangt man für das Gas *O*, und die Wärmemenge in der Raumeinheit des gemischten Gases kann wieder ausgedrückt werden durch:

$$naT^2,$$

unter *T* die resultirende Temperatur verstanden.

Die Mischungen einfacher Gase sind also in Bezug auf die specifischen Wärmen wie die einfachen Gase selbst anzusehen.

Man habe endlich zwei Raumeinheiten der beiden einfachen Gase *H* und *O*, beide von gleicher Temperatur, und von jedem Gase so viel Masse, als zu ihrer chemischen Verbindung zum Gase *HO* nöthig ist. Könnte man die beiden Gase durch Zusammenbringen in die Raumeinheit chemisch verbinden, und zwar ohne Wärmeänderung, so fiele der in zwei Theile zerlegte Vorgang, welcher bei der Mischung stattfand, weg; denn jedes neugebildete Atom erhielte durch die Zusammensetzung gleichen Wärmeantheil, und eine Verdichtung durch Zusammenrücken der neuen Atome, welche an Gewicht gewinnen, fände auch nicht statt. Sofern also in der chemischen Verbindung nicht eine Ursache zur Temperatur-Veränderung liegt, ist keine andere Ursache dazu vorhanden, und man hat alsdann für die Raumeinheit des zusammengesetzten Gases *HO* den Wärme-Ausdruck:

$$W = 2naT^2,$$

d. h. die specifische Wärme des Gases *HO*, auf die Raumeinheit bezogen, ist das Doppelte der specifischen Wärme der einfachen Gase, und wenn man ohne Rücksicht auf die chemische Natur und den Aggregat-Zustand der Massen die Annahme festhalten will, daß nur Wärme-Gleichgewicht herrscht, wenn in gleichen Räumen gleich viel Wärme

ist, so muß man die Wärmemenge  $naT^2$  als durch die chemische Verbindung gebunden betrachten.

So lange die specifischen Wärmen als constant angesehen werden können, ist der Ausdruck  $\frac{W}{T}$  für sie erlaubt; aber dem Begriffe einer variablen specifischen Wärme entspricht diejenige Wärmemenge, welche in der Masseneinheit die unendlich kleine Temperatur-Erhöhung  $dT$  bewirkt, mithin drückt der Differentialquotient  $\frac{dW}{dT}$  das Verhältniß der specifischen Wärmen unter einander aus.

Ist nun die Wärme eines Gases von der Masse 1:

$$W = \frac{naT^2}{v_1} = naT^2 v_1$$

unter  $v_1$  das Volumen verstanden, so kann man als die specifische Wärme bei constantem Volume den Ausdruck betrachten:

$$c_1 = 2nav_1 T$$

und als die specifische Wärme bei constantem Druck:

$$c = \frac{3naa_1 T^2}{p} = 3nav_1 T,$$

folglich:

$$\frac{c}{c_1} = k = 1,5.$$

Sonach ist  $k$  constant für alle dem Mariotte'schen Gesetz unterworfenen Gase, deren Wärmemengen in der Raumeinheit ausgedrückt werden können durch:

$$W = n_1 naT^2$$

unter  $n_1$  irgend welche positive Zahl verstanden. Aus Beobachtungen der Schallgeschwindigkeit in Gasröhren hat Dulong den Schlufs gezogen, daß der Coëfficient  $\varphi$ , mit welcher das Quadrat der theoretischen (Newton'schen) Schallgeschwindigkeit zu multipliciren ist, um die wahre Schallgeschwindigkeit zu geben, dergestalt von der specifischen Wärme des Gases abhängt, daß  $\varphi - 1$  umgekehrt proportional derselben, auf die Raumeinheit bezogen sey; der Werth  $\varphi$  ist aber seinem Begriffe nach ein ganz anderer, als der Werth  $k$ , man hat:

$$\varphi = 1 + \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} \frac{T_1 - T}{T}.$$

Das ist das Verhältniß der Temperatur-Erhöhung bei constantem Druck zur Temperatur-Erhöhung bei constantem Volumen für dieselbe, die Temperatur-Erhöhung bewirkende Wärmemenge. Dieser Werth  $\varphi$  ist veränderlich, er wächst mit dem Unterschiede der Dichten, sobald bei constanter Wärmemenge die Temperatur nur in irgend welchem geraden Verhältniß zur Dichte steht, und ist vollkommen identisch mit dem Coëfficienten des Quadrates der theoretischen Schallgeschwindigkeit, wie er sich ergeben würde, wenn kein Wärmeverlust während der Verdichtung des Gases durch den Schall stattfände. Wegen dieses Verlustes aber hängt der Coëfficient ab von der Geschwindigkeit der Verdichtung und der Schallgeschwindigkeit selbst.

In der Theorie der Aequivalenz von Wärme und Arbeit wird theilweise von der Aussicht ausgegangen, daß ein arbeitendes Gas Wärme verbrauche. Man lasse ein permanentes Gas von der Temperatur  $T$  und dem Volumen  $v$  zuerst bei constanter Temperatur bis zum Volumen  $v_1$ , demnächst bei constanter Wärmemenge bis  $v_2$  sich ausdehnen; sodann drücke man es bei constanter Temperatur  $T_1$  so lange zusammen, bis es alle während der Ausdehnung empfangene Wärme wieder abgegeben hat. Dadurch sey es auf das Volumen  $v_3$  gebracht, und es wird gefragt: kommt es durch weiteres Zusammendrücken bei constanter Wärmemenge auf den Anfangs-Zustand zurück?

Bezeichnet man der Kürze halber die Gröfse  $n_1 na$  mit  $n$ , so hat man für den Anfangs-Zustand:

$$W = n T^2 v,$$

und beim Volumen  $v_1$ :

$$W_1 = n T^2 v.$$

Zugekommene Wärme:  $n T^2 (v_1 - v)$ .

Beim Volumen  $v_2$  hat man:

$$W_2 = n T_1^2 v_2$$

und bei  $v_3$ :

$$W_3 = n T_1^2 v_3$$

Abgegebene Wärme:  $n T_1^2 (v_2 - v_3)$ .

Der Voraussetzung gemäß ist:

$$n T^2 (v_1 - v) = n T_1^2 (v_2 - v_3).$$

Man hat aber in Folge der Ausdehnung bei constanter Wärme:

$$n T^2 v_1 = n T_1^2 v_2.$$

Folglich muß auch seyn:

$$n T^2 v = n T_1^2 v_3$$

d. h. das Gas kommt in den Anfangs-Zustand zurück, wenn es so viel Wärme abgegeben als empfangen hat, anderen Falles kommt es nicht zurück. Dasselbe gilt für jeden Wärme-Ausdruck von der Form:

$$W = n f(T) \varphi(v) + n_1 f_1(T) \varphi_1(v) + \text{etc.}$$

und eine andere Form ist nicht denkbar, insofern bei einem beliebigen endlichen  $v$  für  $T=0$  auch  $W=0$ , und bei einem beliebigen endlichen  $T$  für  $v=0$  ebenfalls  $W=0$  werden soll. Sonach findet bei diesem Kreisproceß ein Wärmeverbrauch durch die permanenten Gase wenigstens nicht statt.

Betrachtet man die Volumina als Abscissen und die dazu gehörigen Druckkräfte  $p$  des Gases als Ordinaten, so erhält man eine von vier Curven geschlossene Figur, deren Inhalt zunächst die integrierende Summe der Unterschiede der beiden Druckkräfte ist, welche jedem Volumen entsprechen. Trägt man dagegen die specifischen Expansivkräfte  $e$  als Ordinaten auf, so erhält man ein Viereck, dessen zwei gerade Seiten mit der Abscissen-Axe parallel laufen, und dessen Inhalt dieselbe Beziehung zu den Werthen  $e$  hat, wie das vorige zu den Werthen  $p$ . Für den unendlich klein gedachten Kreisproceß gehen beide Vierecke in unendlich kleine Parallelogramme über, welche einander mit demselben Rechte proportional sind, wie die Schwere dem Gewichte proportional ist. — Dieser Kreis-

proceß giebt aber nicht die einfachste Vorstellung von der Arbeitskraft der Wärme in einem Gase. Die Arbeitskraft der Wärme ist gegen die Flächeneinheit:

$$K = e\gamma = \frac{e}{v}.$$

Es sey das Gas in einem Cylinder durch einen beweglichen Widerstand gasdicht abgeschlossen, so kann man sich den Cylinder vertical und den Widerstand als ein Gewicht  $p$  denken, welches vom Gase getragen wird. Der horizontale Querschnitt des Gewichtes sey die Einheit, so hat man für das Gleichgewicht:

$$K = \frac{e}{v} = p.$$

Das Halten des Gleichgewichtes muß auch als eine äußere Arbeit der Kraft  $K$  angesehen werden. Eine innere Arbeit der Kraft  $e$  würde die Ueberwindung eines Widerstandes gegen die Ausdehnung im Gase selbst seyn. Ist  $r$  ein solcher Widerstand, so hat man:

$$K = \frac{e}{vr} = p.$$

Ist  $r$  constant, so wird das Mariotte'sche Gesetz nicht beeinträchtigt; ist  $r$  eine Function von  $v$ , so ist dieses Gesetz aufgehoben. Die Temperatur-Grade durch die Spannung eines einfachen permanenten Gases bei constantem Volumen gemessen, wären das muthmaßlich sicherste Maafs für die Temperatur, und wenn die Ausdehnung diesen Temperaturgraden proportional ist, so kann  $r$  als constant angesehen werden. Man kann als sehr nahezu richtig annehmen, daß in den einfachen permanenten Gasen kein anderer Widerstand gegen die Ausdehnung existirt, als das constante allgemeine Beharrungs-Vermögen.

Will man die arbeitende Kraft der Wärme im Gase allein haben, so muß  $p$  constant bleiben, denn eine Aenderung des Gewichtes  $p$  setzt eine dem Gase fremde Arbeit voraus; eine Gewichts-Verminderung arbeitet mit dem Gase, eine Gewichts-Vermehrung dagegen.



Soll das Gewicht ohne fremde Arbeit bis zum Volumen  $v_1$  gehoben werden, so hat man einfach die Proportion:

$$v : e = v_1 : e_1.$$

Bei jenem Kreisproceß ist das Gas gar nicht die Ursache der Bewegung, sie wird bewirkt durch ein anzubringendes Gegengewicht.

Das Gegengewicht, welches erforderlich ist, um das Gewicht  $p$  bei constanter Temperatur auf die Höhe  $dv$  zu heben, bestimmt sich:

$$p = \frac{e}{v} dv$$

und das Gegengewicht, welches ferner zugelegt werden muß, um bei constanter Wärme das Gewicht  $p$  noch um  $d_1 v$  höher zu heben, ist nach Vernachlässigung der unendlich kleinen Glieder zweiter Ordnung:

$$p_1 = \frac{e d_1 v - v de}{v^2},$$

wobei  $de$  sich durch die Gleichung bestimmt:

$$\left(\frac{dW}{de}\right) de + \left(\frac{dW}{d_1 v}\right) d_1 v = 0.$$

Denkt man sich nun die Ausdehnung durch ein allmähliches Vermehren des Gegengewichts und die Zusammendrückung durch ein allmähliches wieder Vermindern desselben geschehen, so ist im Ganzen während der Ausdehnung das Gegengewicht  $\frac{de}{v} dv$  weniger vorhanden gewesen, als während der Zusammendrückung. Diese Größe ist der Effect des Processes, ist, in Gewicht ausgedrückt, das, was die geborgte Wärme bei dem beabsichtigten Kreisproceß mehr genutzt, als geschadet hat. Ohne die geborgte Wärme wäre der Nutzen des Gases dem durch dasselbe verursachten Schaden gleich gewesen. Die geborgte Wärme ist nach der hier aufgestellten Hypothese:

$$dW = \frac{na}{a_1} e^2 dv.$$

Bei constantem  $de$  ist also die geborgte Wärme dem Effect des Kreisprocesses proportional. Der Werth  $de$  hängt

von einer fremden Kraft ab, mit welcher die geborgte Wärme aber mitarbeitet.

Verfasser ist der Meinung, daß eine mechanische Wärmetheorie von wesentlich gleicher Grundanschauung ausgehen muß.

Es möge erlaubt seyn, hier eine Betrachtung über die »latente Wärme« des Wasserdampfes anzuknüpfen.

Es sey  $V_0$  die im gesättigten Dampf von  $0^\circ$  C. befindliche Wärmemenge, und  $V_1$  habe dieselbe Bedeutung für  $100^\circ$ ; es sey ferner  $W_0$  die Wärme im Wasser von  $0^\circ$  und  $W_0 + Q$  die im Wasser von  $100^\circ$ , alle Werthe auf die Masseneinheit bezogen, so hat man nach Regnault für die latente Wärme des Dampfes:

$$V_0 = W_0 = 606,5$$

$$V_1 - W_0 - t - 0,00002t^2 - 0,0000003t^3 = 536,5$$

unter  $t$  Centesimal-Temperatur verstanden. Folglich:

$$V_0 - V_1 + 100 + 0,2 + 0,3 = 70$$

d. h.  $V_0$  ist kleiner als  $V_1$ .

Könnte man nun aber gesättigten Wasserdampf von  $0^\circ$  ohne Wärmeverlust bis zu der Dichte zusammendrücken, welche der gesättigte Dampf von  $100^\circ$  hat, so gelangt man zunächst zu dem Schluss, daß während des Zusammendrückens keine Condensation erfolgen, der Dampf sich vielmehr immer weiter vom Maximum der Spannkraft entfernen und zuletzt eine Temperatur erhalten würde, welche  $100^\circ$  bedeutend übersteigt. Wenn man den Ausdehnungscoefficienten des Wasserdampfes zu 0,004 annimmt, so würde man, die hier aufgestellte Hypothese bei Seite gesetzt, nach Dulong dennoch haben:

$$T = 250^\circ \cdot 120,9 \frac{0,421}{2}$$

Die Zahl 120,9 ist das Dichtenverhältniß:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_0} = \frac{p_1 T_0}{p_0 T_1} = \frac{760 \cdot 273}{4,6 \cdot 373}$$

Man erhält hiernach eine Temperatur von:

$$686^{\circ} - 250^{\circ} = 436^{\circ} \text{ C.}$$

und es müßte dem Dampfe eine bedeutende Wärmemenge entzogen werden, um ihn bis auf  $100^{\circ}$  abzukühlen.

Zur Hebung des Widerspruchs sind drei Annahmen denkbar:

1) Die Drucktemperaturen des Wasserdampfes weichen so bedeutend von obiger Formel ab, daß statt eines Entfernens vom Maximum der Spannkraft vielmehr Condensationen während des Zusammendrückens eintreten.

2) Es können in zwei gleichen Dampfmassen von vollkommen gleichen Zuständen verschiedene Wärmemengen befindlich seyn, von den Umständen abhängig, ob der Dampf direct aus Wasser entstanden, oder ob er durch Druckänderung in den Zustand gebracht worden ist.

3) Das Lösen des Bandes, welches das Wasser als tropfbar flüssige Masse zusammenhält, hat eine größere Wärme-Schwingungsintensität zur Folge, desto größer, je dichter das Wasser ist, und umgekehrt: *beim Uebergange des Dampfes in Wasser wird Wärme gebunden!* —

Zu der Vermuthung, daß das Wasser die Wärme, welche es aufnimmt, theilweise binden möge, gelangt man, wenn man die Hypothese: die beiden Wirkungen der Wärme sind Factoren derselben, auch auf die Wärme im Wasser anwendet.

Es sey die Masseneinheit des Wassers von  $0^{\circ} \text{ C.}$  zugleich die Raumeinheit, wobei von jeglicher Compression durch eigenen wie durch fremden Druck abstrahirt wird, und es sey  $W_0$  die Wärmemenge dieses Wassers. Jeder Wärmezuwachs  $Q$  muß auch einen Zuwachs der Wärmewirkungen hervorbringen. Ist  $t$  der Temperatur-Zuwachs und  $\varepsilon$  der Volumen-Zuwachs, so muß zuvörderst seyn:

$$Q = u_1 r \varepsilon t$$

unter  $u_1$  eine Constante und unter  $r$  den Widerstand des Wassers gegen die Ausdehnung verstanden.

Man hat nun  $r \varepsilon$  als den mechanischen Effect der Wärme anzusehen und ihn dem Temperatur-Effect proportional zu setzen, also

$$r\varepsilon = u_2 t \quad \dots \quad (1)$$

also

$$Q = ut^2.$$

Da nun aber die gesammte Wärme, soll sie geforderte Wirkungen hervorbringen, dem Volumen proportional seyn muß, so ergibt sich für die gesammte Wärme im Wasser der Ausdruck:

$$W = (W_0 + ut^2)(1 + \varepsilon) \quad \dots \quad (2)$$

Wäre der Widerstand  $r$  constant, so wäre  $\varepsilon$  proportional  $t$ . Da letzteres nicht der Fall ist, so wird  $r$  mit dem Wachsen des Volumens abnehmen, und es läßt sich  $r$  als eine Function von  $t$  ansehen. Die einfachste Function, welche ein Minimum des Volumens giebt, ist:

$$r = \frac{u_3}{st - s_1}$$

$s$  und  $s_1$  fernere Constanten.

In Gleichung (1) substituirt:

$$\varepsilon = \frac{u_2}{u_3}(st^2 - s_1 t).$$

Findet das Minimum des Volumens bei  $t = 4^\circ$  statt, und ist  $-0,000112$  der Minimalwerth von  $\varepsilon$ , so erhält man:

$$\varepsilon = 0,000007(t^2 - 8t) \quad \dots \quad (3)$$

Die Curve dieser Gleichung läuft mit den Beobachtungsergebnissen bis gegen  $25^\circ$  hin ziemlich gut zusammen, von wo ab sie steiler wird. Es wäre möglich, daß auch die von Stampfer durch Wägung erhaltenen Resultate nicht frei von einer Fehlerquelle für höhere Temperaturen seyen, doch werde auf die Gleichung (2) zurückgegangen.

Dieselbe bezieht sich nur auf positive  $t$ , und wenn man für gewisse negative Werthe von  $\varepsilon$  ein  $W$  erhält, welches kleiner ist als  $W_0$ , so verliert sie in dieser Form ebenfalls ihre Gültigkeit; man hat alsdann  $t$  als eine Function von  $W$  darzustellen, nämlich:

$$t = \sqrt{\frac{W - W_0 + \varepsilon W_0}{u(1 - \varepsilon)}}$$

$\varepsilon$  absolut genommen.

Da  $W_0$  constant ist, so läßt sich diese GröÙe analog dem Wärme-Ausdrucke für Gase durch

$$m_0 T_0^2 = m_0 273^2$$

ausdrücken; und wenn man  $m^0 = 1$  setzt, so nimmt man damit die Wärmemenge im Wasser von  $0^\circ$  zu  $273^\circ$  an. Eben so kann man die Wärme im Wasser von der Temperatur  $T$  ausdrücken durch

$$W = m T^2 (1 + \epsilon)$$

wobei  $m$  sich durch die Gleichung bestimmt:

$$m = \frac{273^2 + ut^2}{T^2}.$$

Wenn man nun aber versucht, in dem Ausdrucke für die specifische Wärme  $\frac{dW}{dt}$  <sup>1)</sup> die Constante  $u$  durch die specifischen Wärmen zu bestimmen, welche Regnault auf Grund seiner ausgezeichneten Versuche berechnet hat, so ergibt sich, daß  $\frac{dW}{dt}$  so bedeutend dagegen divergirt, daß die Ursache davon nicht allein der etwaigen Divergenz des Werthes  $\epsilon$  nach Gleichung (3) zugeschrieben werden kann, und wenn auch die Regnault'schen specifischen Wärmen eine etwas zu flache Curve geben mögen <sup>2)</sup>, so können sie doch nicht so bedeutend von der Wahrheit abweichen. Will man die Hypothese, nach welcher die Gleichung (2) formirt ist, als an und für sich richtig festhal-

1) Die negativen Differentialquotienten für  $0^\circ$  und in der Nähe von  $0^\circ$  sind eben so ungültig, wie die Gleichung (2) in den erwähnten Fällen; auch ist es rathsam, überhaupt die niedrigen Temperaturen zum Vergleich zu vermeiden.

2) In dem Regnault'schen Ausdrucke für die mittlere specifische Wärme zwischen  $T$  und  $t_1$ :

$$x = \frac{(P_0 - p - \Pi)(t_1 - t_0)}{(P_1 - P_0 + p - \Pi)(T - t_1)}$$

multiplirt sich irgend ein Fehler für  $t_1$ , das ist das beobachtete Maximum der Temperatur im Calorimeter. Wäre  $t_1$  in Folge von Wärmeverlust des Calorimeters etwas zu klein, so wäre  $x$  nicht allein zu klein wegen des zu kleinen Zählers, sondern auch wegen des zu großen Nenners.

ten, so muß man vermuthen, daß in jener Gleichung noch eine Function fehle, welche die Zunahme von  $W$  geringer macht; man muß vermuthen, daß das Wasser die Schwingungsintensität der von ihm aus Gasen oder aus Wasser höherer Temperatur aufgenommenen Wärme verringere, und zwar je mehr, je dichter es ist. Diese Annahme würde den Umstand erklären, daß die spezifische Wärme des gesättigten Wasserdampfes bei den bisher beobachteten Temperaturen geringer als die des Wassers gefunden worden, während doch eine bedeutend grössere Wärmemenge zum Bestehen des Dampfes bei derselben Temperatur mit dem Wasser gehört, während doch ferner die spezifische Wärme des Wassers mit der sinkenden Temperatur sinkt, die des gesättigten Dampfes dagegen mit der rascher als die Temperatur  $T_1$  sinkenden Dichte steigen muß.

Demgemäß hätte man das Glied  $ut^2$  der Gleichung (2) oder, wenn die gesammte Wärme im Wasser mit der Ausdehnung freier wird, die ganze zweite Seite durch eine gerade Function von  $\epsilon$  oder  $t$  zu dividiren, deren deductive Bestimmung wohl aber vorläufig wird dahin gestellt bleiben müssen.

#### IV. Ueber das Schwefeltantal; von H. Rose.

Schon vor langer Zeit, vor 36 Jahren, habe ich das Schwefelmetall dargestellt, und zwar indem ich Dämpfe vom Schwefelkohlenstoff bei hoher Temperatur über Tantalsäure leitete<sup>1)</sup>. Später hat Berzelius das auf diese Weise bereitete Schwefeltantal benutzt, um mittelst desselben den Sauerstoffgehalt der Tantalsäure, und das Atomgewicht des Tantals zu bestimmen. Er glühte eine gewogene Menge des Schwefeltantals beim Zutritt der Luft, und schloß aus der Menge der erhaltenen Tantalsäure auf den Sauerstoffgehalt derselben.

Ich hatte früher auf dieselbe Weise den Sauerstoffgehalt der Titansäure durchs Verbrennen des Schwefeltitans zu bestimmen gesucht, das ebenfalls mittelst des Schwefelkohlenstoffs aus Titansäure erzeugt worden. Ich überzeugte mich aber später, daß das durch diese Versuche erhaltene Resultat nicht ein richtiges seyn konnte, und schrieb dies dem Umstand zu, daß das angewandte Schwefeltitan noch unzersetzte Titansäure enthalten hatte<sup>2)</sup>.

Dies ist indessen nicht der alleinige Grund. Auch wenn das Schwefeltitan von unvollkommener Reinheit ist, so eignet es sich eben so wenig wie das auf ähnliche Weise dargestellte Schwefeltantal dazu, um durch seine Oxydation mittelst Verbrennung sichere Schlüsse auf den Sauerstoffgehalt der metallischen Säuren zu ziehen. Ich bin jetzt überzeugt, daß das Schwefeltitan, welches ich früher anwandte, um daraus das Atomgewicht des Titans zu bestimmen, rein war, oder nur Spuren von Titansäure enthielt, und nur ein später dargestelltes zeigte einen geringen Gehalt von Titansäure als ich es mittelst trocknen Chlorgases zersetzte, was aber nur davon herrührte, daß das Schwefeltitan sich schon bei gewöhnlicher Temperatur

1) Gilbert's Annalen der Physik Bd. 73, S. 139.

2) Pogg. Ann. Bd. 15, S. 145.

durch Chlorgas zersetzte, ehe aus dem Apparate alle atmosphärische Luft ausgetrieben worden war.

Der eigentliche Grund, weshalb diese Schwefelverbindungen sich nicht zu dem Zwecke eignen, wozu Berzelius und ich sie angewandt hatten, ist der, daß sie nicht den metallischen Säuren, die durch ihre Oxydation erzeugt werden, analog zusammengesetzt sind. Ich hatte wohl früher einige Versuche angestellt, um zu beweisen, daß beim Titan das dargestellte Schwefeltitan in der Zusammensetzung der Titansäure entspräche; sie zeigten aber nur, daß es nicht einen Ueberschufs von Schwefel enthalte. Ich digerirte nämlich das Schwefeltitan mit einer Lösung von Kalihydrat; es bildete sich titansaures Kali und eine Lösung von Schwefelkalium, die durch Zersetzung vermittelst Chlorwasserstoffsäure nur Schwefelwasserstoffgas entwickelte und keinen Schwefel absetzte. Berzelius hat aber beim Schwefeltantal sich nicht durch Versuche überzeugt, ob das Schwefeltantal der Tantsäure entspräche. Er nahm eine solche proportionale Zusammensetzung in beiden an, weil er meinte, daß aller Schwefel, welcher bei der Darstellung des Schwefeltantals aus Tantsäure vermittelst Schwefelkohlenstoffs durch Oxydation der Kohle auf Kosten der Tantsäure frei wird, vom Tantal gebunden wird. Wenn man aber die Dämpfe des Schwefelkohlenstoffs über Tantsäure leitet, so entweicht oft der freigewordene Schwefel mit dem überschüssigen Schwefelkohlenstoff ohne sich deutlich abzusetzen, während dieß oft der Fall ist, wenn die Dämpfe desselben langsamer über die metallische Säure geleitet werden.

Im Allgemeinen ist der Schwefel, oder vielmehr ein Theil desselben, mit geringerer Verwandtschaft an Metalle gebunden, als der Sauerstoff. Viele Metalloxyde, welche durch stark erhöhte Temperatur nicht einen Theil ihres Sauerstoffs verlieren, geben oft in den proportionalen Schwefelungsstufen durchs Erhitzen beim völligen Ausschluss der Luft einen Theil des Schwefels ab. Es gehören besonders hierzu diejenigen Schwefelverbindungen, deren entspre-



chende Oxyde schwache Basen oder metallische Säuren bilden. Die bekanntesten davon sind folgende:

1. Das *Schwefelkupfer*,  $\text{CuS}$ ; es entspricht dem Kupferoxyde, kann aber nur auf nassem Wege dargestellt werden, weil es sich durchs Erhitzen beim Ausschluss der Luft in das dem Kupferoxyd analoge Schwefelkupfer  $\text{Cu}^2\text{S}$  verwandelt.

2. Das dem Eisenoxyd analoge *Schwefeleisen*  $\text{FeS}^3$  welches man nach Berzelius auf nassem Wege erhält, wenn eine neutrale Lösung von schwefelsaurem Eisenoxyd in Schwefelammonium tropfenweise gegossen wird, und das man auch auf trockenem Wege darstellen kann, wenn man über Eisenoxyd einen Strom von Schwefelwasserstoffgas bei  $100^\circ$  so lange leitet, als sich noch Wasser erzeugt. Es verliert beim Ausschluss der Luft durch eine erhöhte Temperatur, bei welcher das Eisenoxyd nicht verändert wird, einen Theil des Schwefels.

3. Das höchste *Schwefelantimon*  $\text{SbS}^5$  verliert leicht beim Ausschluss der Luft durch gelindes Erhitzen vor dem Glühen 2 Atome Schwefel und verwandelt sich in gewöhnliches Schwefelantimon  $\text{SbS}^3$ . — Die jenem Schwefelmetail entsprechende Antimonsäure verliert, aber erst beim Glühen, wesentlich nur 1 Atom Sauerstoff, indem sie sich in antimonsaures Antimonoxyd verwandelt.

4. Das der Vanadinsäure analoge *Schwefelvanadin*  $\text{VS}^3$  geht durch erhöhte Temperatur in die niedrigere Schwefelungsstufe  $\text{VS}^2$  über, während die Vanadinsäure,  $\text{V}$ , bis zur Weissgluth erhitzt werden kann, ohne Sauerstoff zu verlieren.

5. Das *Schwefelmolybdän*  $\text{MoS}^3$ , welches man durch Molybdänsäure vermittelst Schwefelwasserstoffs erhält, bildet durchs Erhitzen die Schwefelungsstufe  $\text{MoS}^2$ , indem es Schwefel abgiebt, während die Molybdänsäure durchs Glühen sublimirt werden kann, ohne Sauerstoff zu verlieren.

6. Eben so verhält sich das *Schwefelwolfram*  $\text{WS}^3$ ,

das sich durch Glühen beim Ausschluss der Luft unter Entwicklung von Schwefel in die Schwefelungsstufe  $WS^2$  verwandelt, während die Wolframsäure ohne Zersetzung einer starken Glühhitze ausgesetzt werden kann.

7. Das dem Zinnoxide entsprechende gelbe *Schwefelsinn*  $SnS^2$  verliert beim Erhitzen Schwefel und geht, je nachdem dasselbe schwächer oder stärker angewandt wird, in niedrigere Schwefelungsstufen, in  $Sn^2S^3$  und endlich in  $SnS$  über.

Gerade die Schwefelmetalle also, deren entsprechende Oxyde metallische Säuren bilden, welche mit der Titansäure und der Tantalsäure Aehnlichkeit haben, können beim Glühen nicht bestehen, ohne nicht Schwefel zu verlieren, und sich in niedrigere Schwefelungsstufen zu verwandeln. Es wäre daher auffallend, wenn dies beim Schwefeltitan und dem Schwefeltantal stattfinden sollte. Mannigfaltige Untersuchungen haben mir jetzt auch gezeigt, dass die Schwefelverbindungen des Tantals, welche beim Glühen erzeugt werden, nicht der Tantalsäure entsprechend zusammengesetzt sind.

Das Schwefeltantal wurde zu diesen Versuchen nach zwei Methoden bereitet. Entweder wie in ganz früherer Zeit, und wie es auch Berzelius gethan, durch Behandlung der Tantalsäure mit Schwefelkohlenstoff oder durch Zersetzung des Tantalchlorids vermittelt Schwefelwasserstoffs.

1) *Schwefeltantal durch Behandlung der Tantalsäure mit Schwefelkohlenstoff erhalten.*

Die Verwandlung der Tantalsäure in Schwefeltantal durch die Dämpfe des Schwefelkohlenstoffs geschieht möglichst vollständig nur bei einer Temperatur, welche der Weissgluth sich nähert. Wendet man mindere Hitzgrade an, so enthält das Schwefelmetall Tantalsäure und zwar oft in nicht unbeträchtlicher Menge. Die Operation kann daher nur in einer Porcellanröhre gelingen, die in einem gut ziehenden Windofen einem starken Kohlenfeuer ausgesetzt wird. Während des Erkaltes wurde sorgfältig fort-

gefahren, die Dämpfe des Schwefelkohlenstoffs darüber zu leiten.

Das so erhaltene Schwefeltantal ist zwar grauschwarz, wie ich es auch früher angegeben habe; reibt man es aber in einem kleinen Mörser von durchscheinendem Agat, so wird es stark metallisch glänzend und von sehr deutlich messinggelber Farbe.

1,124 Grm. dieses Schwefelmetalls wurden der Einwirkung des Chlorgases ausgesetzt. Während, wie wir weiter unten sehen werden, es charakteristisch für Schwefeltantal ist, wenn es nicht einer so hohen Temperatur wie dieses ausgesetzt gewesen ist, schon bei der gewöhnlichen Temperatur von diesem Gase zersetzt zu werden, fand hingegen innerhalb 24 Stunden bei diesem keine Einwirkung statt. Erst als nach dieser Zeit der Apparat, aus welchem sich das Chlorgas entwickelte, erwärmt wurde, und daher dasselbe bei einer etwas höheren Temperatur mit dem Schwefelmetall in Berührung kam, erfolgte eine wiewohl sehr geringe Zersetzung; das Schwefelmetall erwärmte sich ein wenig und überzog sich mit einer dünnen gelben Schicht; dann aber erkaltete es wieder vollständig, und es hörte jede fernere Einwirkung auf. Als nun die Kugel mit dem Schwefelmetall etwas erhitzt wurde, fing an Chlorschwefel und Chlortantal überzudestilliren, aber nur durch fortgesetzte Erwärmung war es möglich, die vollständige Zersetzung zu bewirken. Als sich kein gelbes Sublimat mehr zeigte, blieb in der Kugel eine kleine Menge eines schwarzen wolligen Rückstandes, der auch beim stärkeren Erhitzen der Einwirkung des Chlorgases widerstand. Das Gewicht desselben betrug 0,046 Grm. Beim Glühen dieses Körpers fand keine lebhafte Verbrennung statt, er blieb grau, und wog darauf 0,036 Grm. Durch Schmelzen mit zweifach-schwefelsaurem Kali und durch Behandlung der geschmolzenen Masse mit Wasser wurde eine Tantalsäure erhalten, die nicht rein weiß war, und nach der Behandlung mit Chlorwasserstoffsäure 0,031 Grm. wog. In der Chlorwasserstoffsäure war eine Spur von

Eisenoxyd. Es besteht der schwarze Rückstand, wie dieß sich auch noch aus den weiter angeführten Versuchen ergibt, wesentlich aus Schwefeltantal, das nur mit etwas Kohle gemengt ist und das durch diese Einmischung, so wie wahrscheinlich auch durch seine grössere Dichtigkeit, der Einwirkung des Chlorgases widersteht. — Auch Berzelius erhielt bei der Behandlung des Schwefeltantals mit Chlorgas eine geringe Menge eines ähnlichen Rückstandes.

Die Destillationsproducte wurden in Wasser geleitet, und so viel Chlorgas nach und nach entwickelt, dafs aller durch Zersetzung des Chlorschwefels ausgeschiedener Schwefel vollständig aufgelöst wurde. Die Flüssigkeit wurde mit Ammoniak übersättigt, erhitzt, die ausgeschiedene Tantal-säure filtrirt und so lange ausgewaschen bis das Waschwasser keine Reaction auf Schwefelsäure mehr zeigte. Aus der sauer gemachten Flüssigkeit wurde die Schwefelsäure als schwefelsaure Baryterde gefällt. Es wurden 0,961 Grm. Tantalsäure und 2,257 Grm. schwefelsaure Baryterde erhalten. Dieß entspricht 0,7797 Grm. Tantal und 0,311 Grm. Schwefel, oder 71,49 Proc. Tantal und 28,51 Proc. Schwefel. — Von der angewandten Menge des Schwefeltantals, 1,124 Grm., ist es zweckmäßiger nicht 0,046 Grm. des schwarzen Rückstandes, sondern nur 0,036 Grm. abzuziehen, weil derselbe vor dem Erhitzen Feuchtigkeit anzog, und nicht mit Genauigkeit gewogen werden konnte. Es giebt dieß 1,088 Grm.; was nicht sehr abweicht von 1,0907 Grm. oder der Menge, die sich aus den erhaltenen Quantitäten von Tantal und von Schwefel ergibt.

Das untersuchte Schwefeltantal stimmt hinsichtlich seiner Zusammensetzung mit keiner Verbindung des Tantals mit dem Schwefel überein, die nach einem bestimmten einfachen Verhältnisse zusammengesetzt ist. Die verschiedenen Schwefelungsstufen des Tantals haben der Berechnung nach folgende Zusammensetzung im Hundert:

	$Ta+2S$	$2Ta+3S$	$Ta+S$
Tantal	68,26	74,14	81,14
Schwefel	31,74	25,86	18,86
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00.

Bei der erhöhten Temperatur, die bei der Bereitung des Schwefeltantals angewandt werden mußte, hatte sich wahrscheinlich  $2\text{Ta} + 3\text{S}$  gebildet, das beim langsamen Erkalten in einer Atmosphäre von Schwefelkohlenstoffdampf sich mit noch etwas mehr Schwefel verband, aber doch nicht die Verbindung bilden konnte, welche der Tantal-säure entsprechend zusammengesetzt ist.

Dasselbe Schwefeltantal wurde beim Zutritt der Luft geröstet, und in Tantalsäure verwandelt, die in einer Atmosphäre von kohlensaurem Ammoniak geglüht wurde, um sie von aller Schwefelsäure zu befreien. 1,163 Grm. des Schwefeltantals gaben auf diese Weise 1,041 Grm. Tantal-säure, oder 100 Theile des Schwefelmetalls gaben 89,51 Theile von Tantalsäure. Diefs ist gerade dieselbe Menge, die auch Berzelius durch Rösten des Schwefeltantals erhalten hat; er hat also ein Schwefelmetall von gleicher Zusammensetzung untersucht.

Wurde die erhaltene Tantalsäure mit zweifach-schwefelsaurem Kali zusammengeschmolzt, und die geschmolzene Masse mit Wasser behandelt, so wurde dasselbe Gewicht an Tantalsäure erhalten.

89,51 Th. Tantalsäure enthalten 72,6 Tantal. Es ist diels also fast dieselbe Menge, wie sich aus der Zersetzung des Schwefeltantals mittelst Chlorgas ergeben hat. Es folgt auch hieraus, daß der schwarze Rückstand, der bei der Behandlung mit Chlorgas zurückbleibt, wesentlich auch aus Schwefeltantal bestand.

Es ist zu bedauern, daß als Berzelius das Schwefeltantal durch Chlorgas zersetzte, er nicht wenigstens die Menge der Schwefelsäure und des Schwefels bestimmt hat, die er bei dieser Zersetzung erhielt, was mit keinen Schwierigkeiten verknüpft gewesen wäre. Er würde sich dann leicht überzeugt haben, daß die Menge der durch Rösten erhaltenen Tantalsäure nicht ein richtiges Aequivalent des angewandten Schwefeltantals gewesen wäre.

Das Schwefeltantal von dieser Bereitung wurde einer höheren Temperatur, aber nicht einer so hohen, als zu

seiner Bereitung erforderlich war, in einem Strome von trockenem Wasserstoffgas ausgesetzt. Es zeigte sich aufer Schwefelwasserstoffgas auch ein geringer Absatz von Schwefel. Der Versuch wurde so lange fortgesetzt, bis das darüber geleitete Gas in einer Lösung von essigsauerm Bleioxyd keine Bräunung mehr hervorbrachte. 1,562 Grm. des Schwefelmetalls wogen nach dem Versuch 1,554 Grm., und hatten daher einen Verlust von nur 0,51 Proc. an Schwefel erlitten. Das Schwefeltantal hatte durchs Glühen in einem Wasserstoffgasstrome nicht die Eigenschaft verloren, durchs Reiben in einem Agatmörser eine messinggelbe Farbe zu zeigen. — Enthielt das angewandte Schwefeltantal auf 72,6 Proc. Tantal 27,4 Proc. Schwefel, so bestand das im Wasserstoffgasstrome geglühte im Hundert aus 72,97 Proc. Tantal und 27,03 Schwefel.

Auch dieses im Wasserstoffgasstrome geglühte Schwefeltantal wurde der Einwirkung des Chlorgases unterworfen. 1,541 Grm. hinterliessen einen Rückstand von 0,079 Grm. von schwarzer Farbe. Die Destillationsproducte lieferten bei der Zersetzung durch Wasser 1,313 Grm. Tantalsäure, 2,950 Grm. schwefelsaurer Baryterde und 0,001 Grm. Schwefel, was 1,065 Grm. Tantal und 0,407 Grm. Schwefel entspricht. Das giebt das Verhältniß im Hundert von 72,4 Tantal und 27,6 Schwefel.

Dafs der geringe schwarze Rückstand, welcher bei der Behandlung des Schwefeltantals mit Chlorgas zurückbleibt, und der Einwirkung desselben hartnäckig widersteht, aus Schwefeltantal von gröfserer Verdichtung, vielleicht mit ein wenig Kohle gemengt, besteht, ergiebt sich aus einer ferneren Untersuchung. 0,076 Grm. desselben (welche indessen nicht mit grofser Genauigkeit gewogen werden konnten) wurden mit vielem kohlen-sauerm Natron gemengt, und das Gemenge vorsichtig nach und nach in schmelzendes chlor-saures Kali getragen. Die Oxydation geschah mit Feuererscheinung, nach welcher das Ganze noch bei einer stärkeren Hitze geschmolzen und darauf mit Wasser behandelt wurde. Es schied sich ein unlöslicher Rückstand von

grauer Farbe aus. Die Flüssigkeit wurde durch Chlorwasserstoffsäure sauer gemacht, und darauf mit Ammoniak neutralisirt. Das Ungelöste war nach dem Glühen noch von dunkelgrauer Farbe und wog 0,056 Grm. Die davon filtrirte Flüssigkeit, sauer gemacht, gab mit Chlorbaryum 0,035 Grm. schwefelsaurer Baryterde. Wären jene 0,056 Grm. reine Tantalsäure, so würde der Rückstand aus 0,045 Tantal und nur 0,005 Schwefel bestanden haben. Der grofse Verlust ist beonders dadurch entstanden, dafs der Körper, der ganz von Chlor durchdrungen war, sich nicht mit Genauigkeit wägen liefs. Aber die erhaltene Tantalsäure war von dunkelgrauer Farbe, und bestand wohl noch zum grofsen Theile aus unzersetztem Schwefeltantal, das durch lauges und anhaltendes Erhitzen und Glühen eine grofse Dichtigkeit erhalten hatte.

Es war nun noch zu untersuchen, ob, wenn Tantalsäure vermittelt Schwefelkohlenstoffs in Schwefeltantal verwandelt worden ist, letzteres durchs Glühen beim Zutritt der Luft dieselbe Menge von Tantalsäure giebt, die zu seiner Darstellung angewandt worden, 2,448 Grm. Tantalsäure auf einem Porcellanschiff in einer Porcellanröhre der Weifsgluht ausgesetzt, während Schwefelkohlenstoffdampf vermittelt eines Stromes von Wasserstoffgas darüber geleitet wurde, gaben 2,668 Grm. Schwefeltantal, oder 100 Theile Tantalsäure 109,00 Th. der Schwefelverbindung. 0,613 Grm. derselben, die also 0,562 Grm. Tantalsäure entsprechen, gaben durchs Rösten 0,561 Grm. Tantalsäure. Beim Rösten des Schwefeltantals erhält man also genau dieselbe Menge von Tantalsäure wieder, die zur Bereitung angewandt worden. Es war diefs zwar vorauszusehen; wir werden indessen später sehen, dafs das Resultat dieses Versuchs von einer gewissen Wichtigkeit ist.

Dafs das Schwefeltantal, je nachdem es bei stärkerer oder bei schwächerer Hitze erhalten worden ist, von verschiedenen Graden der Dichtigkeit erhalten werden kann, ergibt sich aus einer Reihe von Versuchen.

Es wurde Tantalsäure in einer Kugelhöhre von Glas



geglüht, während die Dämpfe des Schwefelkohlenstoffs darüber geleitet wurden. Bei diesen Versuchen werden andere Resultate erhalten, je nachdem die Tantalsäure aus Tantalchlorid durch Zersetzung mittelst Wassers erhalten worden war, oder durchs Schmelzen mit zweifachschwefelsaurem Kali, in welchem Falle sie eine weit größere Dichtigkeit besitzt. Die Versuche wurden immer so lange fortgesetzt, bis nach oftmals erneutem Glühen in der Atmosphäre von Schwefelkohlenstoffdampf keine Gewichtszunahme mehr stattfand, und das Gewicht sich vollkommen gleich blieb.

I. 3,550 Grm. Tantalsäure aus dem Chloride gaben 3,846 Grm. Schwefeltantal, oder 100 Theile der Säure gaben 108,34 Theile des Schwefelmetalls.

II. 1,364 Grm. Tantalsäure aus dem Chloride gaben 1,449 Grm. Schwefeltantal, oder 100 Theile Tantalsäure nur 106,23 Theile Schwefeltantal.

III. 3,061 Grm. Tantalsäure mit zweifach schwefelsaurem Kali geschmolzen gaben nur 3,170 Grm. Schwefeltantal oder 100 Theile des erstern 103,56 Theile Schwefeltantal.

IV. 4,728 Grm. Tantalsäure ebenfalls mit zweifachschwefelsaurem Kali geschmolzen gaben 4,889 Grm. Schwefeltantal, oder 100 Theile Tantalsäure 103,40 Theile Schwefelmetall.

Schon aus diesen Resultaten geht hervor, daß die verschiedenen Mengen des erhaltenen Schwefeltantals nicht rein seyn konnten, sondern noch Tantalsäure enthalten mußten. Denn wenn sich hierbei aus der Säure nur die Verbindung  $2\text{Ta} + 3\text{S}$  gebildet haben sollte, so hätten 100 Tantalsäure 109,43 Schwefeltantal geben müssen.

Alle diese Arten des Schwefelmetalls, auch die welche aus der mit zweifach-schwefelsaurem Kali geschmolzenen Tantalsäure dargestellt worden waren, sahen zwar schwarz oder grünlich schwarz aus; beim Reiben indessen in einem kleinen Agatmörser erhielten sie alle eine messinggelbe

Farbe. In dieser Hinsicht gleichen sie dem in der Weifsgluht dargestellten Schwefelmetall.

Sie unterschieden sich indessen zuerst wesentlich dadurch, daß sie beim Erhitzen in einer Wasserstoffgas-Atmosphäre bei weitem mehr Schwefel-verloren, als die in der Weifsgluht dargestellte Verbindung. 1,388 Grm. Schwefelmetall von dem Versuch IV wogen, nachdem sie so lange in einem Strome von Wasserstoffgas geglüht worden waren, bis durch eine Lösung von essigsauerm Bleioxyd kein Schwefelwasserstoffgas in dem entweichenden Gase mehr entdeckt werden konnte, und bei mehreren Wägungen kein Gewichtsverlust mehr stattfand, 1,322 Grm. Während der ganzen Operation entwickelte sich nur Schwefelwasserstoffgas und es konnte kein Anflug von Schwefel wahrgenommen werden. Der Gewichtsverlust betrug also 0,056 Grm., und das Schwefeltantal hatte 4,03 Proc. Schwefel verloren.

Beim Reiben im Agatmörser zeigte dieses Schwefeltantal keine messinggelbe, sondern nur eine schwarze Farbe, und unterschied sich dadurch wesentlich von dem in der Weifsgluht erhaltenen, und im Wasserstoffstrome erhitzten Schwefeltantal, daß es durch diese Behandlung auch nur eine unbedeutende Menge von Schwefel verloren hatte.

Es unterscheidet sich aber ferner das bei nicht so hoher Temperatur erhaltene Schwefeltantal von dem in der Weifsgluht dargestellten, besonders dadurch, daß es bei gewöhnlicher Temperatur sehr energisch von einem Strome von kaltem Chlorgas angegriffen, und ganz dadurch zersetzt wird. — 1,493 Grm. Schwefeltantal, ebenfalls aus dem Versuche IV wurden der Einwirkung des Chlorgases unterworfen. So wie das Gas das Schwefelmetall berührte, fand eine so heftige Zersetzung statt, daß die Kugel so heiß wurde, daß sie nicht mit der Hand berührt werden konnte. Es destillirte Chlorschwefel über, und der ganze Inhalt der Kugel war mit gelbem wolligem Chlorid angefüllt. Als dasselbe im Chlorgasstrome abdestillirt wurde, blieb eine beträchtliche Menge eines weißen Rückstandes zurück, der

auch beim stärkeren Erhitzen kein Chlorid mehr gab, und wesentlich aus Tantalsäure bestand. Ihr Gewicht war 0,450 Grm. Als sie aber mit Ammoniak-haltigem Wasser behandelt, und ausgewaschen wurde, wog sie nach dem Glühen nur 0,434 Grm.

Die Destillations-Producte wurden durch Wasser zersetzt, und es war so viel Chlorgas durch die Flüssigkeit geleitet worden, daß aller Schwefel vollständig oxydirt worden war. Es wurden erhalten 0,930 Grm. Tantalsäure und 2,333 Grm. schwefelsaure Baryterde, welche 0,755 Grm. Tantal und 0,321 Grm. Schwefel enthalten. Diefs giebt ein Verhältniß im Hundert von 70,17 Tantal und 29,83 Schwefel.

Es wäre diels ein sehr schwefelreiches Schwefeltantal. Es fragt sich indessen, ob das untersuchte Schwefelmetall in der That diese Zusammensetzung hatte.

Wir haben gesehen, daß bei der Behandlung desselben mit Chlorgas eine bedeutende Menge von Tantalsäure zurückblieb. Der größte Theil derselben war unstreitig wohl schon in dem angewandten Schwefelmetall enthalten, und war, bei der nicht zu hohen Temperatur während der Bereitung, der Einwirkung des Schwefelkohlenstoffs entgangen, der erst in der Weißgluth die Tantalsäure vollständig zersetzt. Ich lasse es unausgemacht, ob diese Tantalsäure in dem Schwefelmetall eingemengt war, oder damit eine chemische Verbindung, ein Oxysulphuretum, bildete.

Ein Theil dieser Tantalsäure, wenn auch nur ein geringer, ist aber dadurch entstanden, daß das Chlorgas schon auf das Schwefeltantal einwirkte, ehe alle atmosphärische Luft aus dem Apparate vertrieben war. Dadurch entstand etwas Tantalsäure, und das Schwefeltantal enthielt daher wohl etwas mehr Tantal und weniger Schwefel, als oben angegeben worden ist. Fügt man daher zu der Menge des Tantals und des Schwefels oder zu 1,076 Grm. noch die Menge der Tantalsäure, die der Einwirkung des Chlors widerstanden, so erhält man am Gewicht mehr, als angewandt wurde.

2) *Schwefeltantal durch Behandlung des Tantalchlorids  
vermittelt Schwefelwasserstoff erhalten.*

Die Darstellung des Schwefeltantals nach dieser Methode geschah auf folgende Weise: Es wurden mit Tantalchlorid mehrere Glasröhren gefüllt, welche an beiden Seiten zu Spitzen ausgezogen worden waren, die nach der Füllung zugeschmolzt wurden. Das Chlorid war mit aller Sorgfalt bereitet worden, so daß es keine Tantalsäure enthalten konnte. Diese Glasröhren wurden in eine große Glasröhre von weitem Durchmesser gebracht, nachdem vorher die Spitzen an beiden Seiten abgebrochen worden waren, und nun schnell sorgfältig getrocknetes Schwefelwasserstoffgas hindurch geleitet. Die mit Tantalchlorid gefüllten Röhren waren so in die weite Glasröhre gelegt worden, daß noch ein großer Theil derselben, welche überhaupt 6 Fuß lang war, an einem Ende nichts davon enthielt. Nachdem das Gas bei der gewöhnlichen Temperatur mehrere Stunden durch die Röhre geleitet worden war, wurde das gelbe Chlorid auf der Oberfläche sehr langsam schwarz; darauf wurde die Röhre nach und nach bis zum Glühen gebracht, doch mit der Vorsicht, daß der Theil derselben, in welchem sich kein Chlorid befand, und der von dem Entwicklungsapparat des Schwefelwasserstoffgases am entferntesten war, zuerst erhitzt wurde, und darauf allmählich das Chlorid selbst. Während die Einwirkung des Gases in der gewöhnlichen Temperatur so unbedeutend war, daß ich sie früher, als ich sie nicht hinreichende Zeit hindurch fort dauern ließ, ganz übersah, war sie beim Erhitzen sehr stark, und das gebildete Schwefeltantal wurde, obgleich das Gas nur langsam strömte, so weit fortgeführt, daß ein Theil aus der sehr langen Röhre fortgetrieben wurde. Die Erzeugung des Schwefelmetalls schien nur dann besonders statt zu finden, wenn ein Gemenge von Dämpfen des Tantalchlorids und von Schwefelwasserstoff stark geglüht wurde; bei minder starker Hitze schien sich das Chlorid in der Atmosphäre von Schwefelwasserstoffgas zu verflüchtigen, ohne sich stark zu zersetzen. Deshalb wurde besonders der

leere Theil der Glasröhre bis zum stärksten Glühen gebracht, und der mit Chlorid angefüllte nur gegen das Ende der Operation längere Zeit hindurch eben so stark erhitzt.

Wegen der scheinbaren Verflüchtigung des Schwefeltantals konnte nicht mit Sicherheit beobachtet werden, ob dabei eine Abscheidung von Schwefel erfolgte; es liefs sich nur mit völliger Gewifsheit entscheiden, dafs hierbei nicht die Bildung der geringsten Menge von Wasser stattfand.

Der Versuch wurde immer so lange fortgesetzt, bis nicht die kleinste Entwicklung von Chlorwasserstoffgas bemerkt werden konnte.

Ein Theil des erzeugten Schwefeltantals war in den Glasröhren geblieben, in welchem das Chlorid eingeschlossen war; ein grofser Theil desselben indessen hatte sich in dem leeren Theil der grofsen Glasröhre abgesetzt. Das in den kleineren Glasröhren eingeschlossene Schwefelmetall war von rein schwarzer Farbe, zeigte aber beim Reiben im Agatmörser Metallglanz und eine messinggelbe Farbe. Das in dem leeren Theile der grofsen Glasröhre enthaltene Schwefeltantal war zwar auch schwarz, aber an den Wänden der Glasröhre hatten sich Krusten abgesetzt, die ein krystallinisches Ansehen und messinggelbe Farbe hatten und dem Schwefelkies nicht ganz unähnlich waren.

Wurde das aus dem Tantalchlorid auf diese Weise erhaltene Schwefelmetall in einer Porcellanröhre in einem Windofen einer sehr hohen Temperatur, der Weifsgluht, in einem Strome von trockenem Schwefelwasserstoffgas länger als drei Stunden hindurch ausgesetzt, so hatte es eine minder schwarze Farbe angenommen und war zum Theil mit einem weifsen Körper gemengt. Beim Reiben in einem kleinen Agatmörser zeigte sich zwar auch die messinggelbe Farbe des Schwefeltantals; an manchen Stellen war aber dasselbe so mit dem weifsen Körper gemengt, dafs die Farbe nach dem Reiben aschgrau erschien. Dieser weifse Körper war Schwefelkiesel, der sich durch die Einwirkung des Schwefelwasserstoffs bei der sehr hohen Temperatur

auf die Kieselsäure der Porcellanröhre an manchen Stellen gebildet hatte.

Wurde das aus Tantalchlorid mittelst Schwefelwasserstoffs erhaltene Schwefeltantal mit Chlorgas behandelt, so wurde es schon bei gewöhnlicher Temperatur sehr stark angegriffen, und die Glaskugel, in welcher es lag wurde heißer als bei dem Schwefeltantal, das bei nicht zu hoher Temperatur mittelst Schwefelkohlenstoffs erhalten worden war, wenn dasselbe mit Chlorgas behandelt wurde. Ein Theil vom Tantalchlorid und vom Chlorschwefel destillirte durch die von selbst entstandene Hitze ab, das Uebrigbleibende schützte aber das noch nicht Zersetzte gegen die Einwirkung des Chlorgases, so daß etwas äußere Erhitzung angewandt werden mußte, um die vollständige Zersetzung zu bewirken, und um die Zersetzungsproducte abzudestilliren, welche in Wasser geleitet wurden.

Es blieb in der Kugel eine geringe Menge eines weißen Rückstandes, der auch bei stärkerer Hitze der Einwirkung des Chlorgases widerstand. Es war dieß Tantal säure, die, da das Schwefelmetall keinen Sauerstoff enthalten konnte, nur dadurch entstanden war, daß das Chlorgas schon mit Heftigkeit auf das Schwefeltantal wirkte, als dasselbe zum Theil noch mit atmosphärischer Luft umgeben war. Aber diese Tantal säure ist nicht rein; sie enthält noch viel Chlorid, und ist ein Aci-Chlorid, das nicht mit gehöriger Genauigkeit gewogen werden kann.

1,775 Grm. des Schwefeltantals durch Chlorgas zersetzt, gaben 0,296 Grm. von diesem Rückstand; ferner 1,555 Grm. Tantal säure und 3,030 Grm. schwefelsaure Baryterde. Diese entsprechen 1,262 Grm. Tantal und 0,425 Grm. Schwefel. Rechnet man dazu noch 0,296 Grm. des Rückstandes, so erhält man 1,983 Grm.; was bedeutend mehr als die angewandte Menge ist, woraus sich mit Sicherheit ergibt, daß dieser Rückstand keine reine Tantal säure seyn konnte. Es ist daher rathsam, nur die Menge des erhaltenen Schwefels als sicher anzunehmen, und das angewandte Schwefelmetall, als bestehend aus 0,425 Grm. Schwefel und 1,350 Tantal

zu betrachten. Im Hundert wäre es dann zusammengesetzt aus 23,94 Schwefel und 76,06 Tantal.

Als von einer anderen Bereitung des Schwefeltantals zwei verschiedene Mengen derselben durch Chlorgas auf dieselbe Weise zersetzt wurden, wurden aus 1,026 Grm. des Schwefelmetalls 0,247 Grm. Schwefel und aus 1,013 Grm. 0,244 Grm. Schwefel erhalten. Hiernach ist das Schwefeltantal in diesen beiden Mengen zusammengesetzt im Hundert aus:

	I.	II.
Tantal	75,93	75,91
Schwefel	24,07	24,09
	<u>100,00</u>	<u>100,00.</u>

Es wäre dieß wesentlich das Schwefeltantal  $2\text{Ta} + 3\text{S}$ , nur mit einer etwas geringeren Menge von Schwefel.

Es ist indessen möglich, daß der Rückstand, der der Behandlung des Chlorgases widerstand, auch etwas Schwefelsäure enthielt, was nicht untersucht wurde. Dann wäre der Schwefelgehalt etwas zu gering angegeben.

Schwefeltantal, das zu anderen Zeiten, aber auf dieselbe Weise bereitet worden, gab bei der Untersuchung etwas andere Resultate.

0,684 Grm. gaben durchs Glühen beim Zutritt der Luft 0,596 Grm. Tantalsäure. Dieß entspricht einer Zusammensetzung von 70,61 Tantal und 29,39 Schwefel.

0,826 Grm. Schwefeltantal zu einer andern Zeit bereitet gaben auf dieselbe Weise behandelt 0,738 Grm. Tantalsäure. Die daraus berechnete Zusammensetzung des Schwefelmetalls im Hundert ist 72,5 Tantal und 27,5 Schwefel.

Aus allen diesen Versuchen ergibt sich nun wohl zur Genüge, daß keins der erhaltenen Arten des Schwefelmetalls der Tantalsäure proportional seyn kann, sondern daß dieselben nach der verschiedenen Bereitung nicht ganz gleich zusammengesetzt sind, daß keins derselben aber so viel Schwefel enthält, um die höchste Schwefelverbindung zu bilden.

Ich will hier noch darauf aufmerksam machen, daß bei



der Zersetzung des Schwefelmetalls mittelst Chlorgas nicht eine ähnliche Verbindung des Chlorids mit Chlorschwefel erhalten werden kann, wie ich sie bei Behandlung des Schwefelzinns  $\text{Zn S}^2$ , und selbst auch des Schwefeltitans und des Schwefelantimons mit Chlorgas darstellte<sup>1)</sup>. Wenn eine Verbindung von Tantalchlorid mit Schwefelchlorid in dem wolligen gelben Ueberzuge enthalten ist, der bei gewöhnlicher Temperatur sich durch Einwirkung von Chlorgas auf Schwefeltantal bildet, so ist sie von so loser Verwandtschaft, daß sie durchs Erhitzen in ihre Bestandtheile zerfällt.

Ich habe versucht das Schwefeltantal noch auf andere Weise darzustellen, welche aber keine günstigen Resultate gegeben hat.

Wird über Tantsäure während des Glühens Schwefelwasserstoffgas geleitet, so bildet sich in der That eine höchst kleine Menge von Schwefeltantal. Die Säure wird grau, aber die Menge des erzeugten Schwefelmetalls ist so gering, daß die Bildung von Wasser nicht wahrgenommen werden kann, weil es durch das Schwefelwasserstoffgas als Dampf fortgeführt wird. Dahingegen konnten geringe Mengen von ausgeschiedenem Schwefel wahrgenommen werden, dessen Ausscheidung aber wohl vorzüglich der lange anhaltenden Einwirkung der Rothgluth auf das Schwefelwasserstoffgas zugeschrieben werden kann. — Der Versuch wurde bei starker Rothgluth in einer starken Glasröhre von engem Durchmesser mehrere Stunden hindurch fortgesetzt. Das erhaltene graue Pulver zeigte indessen beim Verbrennen eine kleine Schwefelflamme. 0,989 Grm. davon verwandelten sich durchs Glühen an der Luft in 0,980 Grm. Tantsäure; der Schwefelgehalt in dem grauen Pulver war also ein sehr geringer. — Bei Anwendung von Weißgluth kann vielleicht die Tantsäure sich durch Schwefelwasserstoffgas in einem höheren Maasse, doch schwerlich vollständig zersetzen.

Wenn man die Dämpfe von Schwefelkohlenstoff über

1) Pogg. Ann. Bd. 42, S. 517.

erhitztes Tantalchlorid leitet, so wird es nicht davon zersetzt, ein Erfolg, der vorauszusehen war, da Kohle bekanntlich nur sehr mittelbar sich mit Chlor verbindet. Man kann das Chlorid in einer Atmosphäre von Schwefelkohlenstoffdampf, ohne daß es sich verändert, sublimiren, wenn sorgfältig während des Versuchs jeder Zutritt von atmosphärischer Luft vermieden wird, in welchem Falle sogleich etwas Schwefeltantal entsteht. — Enthält aber das Tantalchlorid etwas Säure, so wird diese sogleich beim Erhitzen durch den Schwefelkohlenstoffdampf geschwärzt und in Schwefeltantal verwandelt. Es ist der Schwefelkohlenstoff daher ein zweckmäßiges Mittel einen Sauerstoffgehalt in Chloriden zu entdecken.

Das Schwefeltantal wird von manchen Reagentien zwar leichter, von anderen aber noch schwerer angegriffen als das metallische Tantal. — Durch Chlorwasserstoffsäure wird es auch durch längeres Kochen nicht zersetzt. Es behält seine Farbe und die Chlorwasserstoffsäure enthält keine Tantalsäure aufgelöst.

Dagegen wird es durchs Kochen mit Salpetersäure zersetzt; es verliert unter Entwicklung von rothen Dämpfen dadurch seine Farbe, wird weiß und in Tantalsäure verwandelt. Dabei scheidet sich nicht Schwefel aus, sondern derselbe wird gleichmäßig mit dem Tantal oxydirt. Die Zersetzung geschieht indessen sehr langsam. Etwas aber nicht viel stärker wirkt Königswasser auf Schwefeltantal ein.

Von der Schwefelsäure wird das Schwefeltantal beim Erhitzen nur sehr langsam angegriffen, und nur dann besonders, wenn der größte Theil der concentrirten Säure durchs Erhitzen verflüchtigt worden ist.

Mit Fluorwasserstoffsäure in einer Platinschale erhitzt wird es so wenig angegriffen, daß man einen Geruch von Schwefelwasserstoff nicht bemerken kann. Die abgegossene Säure enthält indessen Tantalsäure aufgelöst, und giebt einen Niederschlag durch Uebersättigung von Ammoniak. Das unaufgelöste Schwefeltantal behält aber sein äußeres

Ansehen. Auch durch langes Kochen glückt es nicht, eine kleine Menge von Schwefeltantal gänzlich in Fluorwasserstoffsäure aufzulösen. — Selbst durch eine Mischung von Fluorwasserstoffsäure und von Salpetersäure konnte nicht eine vollständige Auflösung bewirkt werden, obgleich die Säuren viel Tantalsäure aufgelöst enthielten. Wird das unaufgelöste Schwefelmetall ausgewaschen, so verbrennt es nach dem Trocknen beim Zutritt der Luft mit einem Schwefelflämchen, die erhaltene Tantalsäure erhält aber auch durch langes Glühen eine nicht rein weiße Farbe.

Wird das Schwefeltantal mit Jod und etwas Wasser behandelt und damit erhitzt, so verändert es sich dadurch nicht. Nach dem Auswaschen mit Alkohol bleibt das Schwefeltantal ungelöst zurück. Die davon getrennte Flüssigkeit enthält keine Schwefelsäure. — Auch durchs Zusammenschmelzen des Schwefeltantals mit Jod kann kein Jodtantal erzeugt werden. Das Jod sublimirt vom Schwefeltantal, welches rein zurückbleibt, wenn es mit Alkohol ausgewaschen worden ist.

Wird das Schwefeltantal mit einer concentrirten Lösung vom höchsten Schwefelkalium (durchs Kochen einer Lösung von Kalihydrat mit Schwefel bereitet) gekocht, so wird es nicht davon aufgelöst. — Schmelzt man Schwefeltantal mit Kalihydrat, so bildet sich Schwefelkalium und tantalsaures Kali. Schmelzt man es mit einer Mischung von Schwefel und kohlensaurem Natron, so wird auch Schwefelnatrium und tantalsaures Natron gebildet; wenn das Schmelzen aber nicht bei starker Hitze geschehen ist, so bleibt viel von dem Schwefeltantal unzersetzt. Aus diesen Versuchen geht hervor, daß das Schwefeltantal nicht die Rolle eines Sulphids zu spielen im Stande ist.

V. Ueber die neueren Theorien von der Beschaffenheit der aus kreisrunden Oeffnungen hervortretenden Flüssigkeitsstrahlen; von J. Plateau.

(Aus dem *Bullet. de l'acad. roy. de Belgique*, T. XXIII, vom Hrn. Verfasser mitgetheilt.)

Als ich i. J. 1849 am Ende der zweiten Reihe meiner »*Recherches expérimentales et théoriques sur les figures d'équilibre etc.*«<sup>1)</sup>, eine vollständige Theorie von der Beschaffenheit der aus kreisrunden Oeffnungen tretenden und jedem fremden Einfluß entzogenen Flüssigkeitsstrahlen gab, glaubte ich, daß diese Theorie, die mit absoluter Nothwendigkeit aus den Resultaten genauer Versuche hergeleitet worden und demzufolge die Erklärung aller Einzelheiten und aller Gesetze der Erscheinung liefert, ohne Weiteres angenommen werden würde. Allein ich irrte mich: Zu Anfange des vorigen Jahres sind zwei verschiedene Theorien aufgestellt, die eine von Hrn Dejean<sup>2)</sup>, die andere von Hrn. Magnus<sup>3)</sup>. Da ich indess weder in dem kurzen Abriss, den Hr. Dejean von seiner bisher nicht veröffentlichten Arbeit gegeben hat, noch in der Abhandlung des Hrn. Magnus irgend eine Erwähnung meiner Theorie und folglich auch irgend einen Einwurf gegen sie fand, so war ich entschlossen zu warten und der Zeit es zu überlassen, sie geltend zu machen. Allein es ist noch eine neue Theorie hinzugekommen. In dem, diesen Januar, der Akademie abgestatteten Bericht<sup>4)</sup> über meine dritte Reihe, worin ich die Wirkungen von Schwingungsbewegungen auf die Strahlen erkläre, kommt Hr. Maus auf die Beschaffenheit der dieser Wirkung nicht unterworfenen Strahlen zurück. Er erklärt, meine Theorie nicht annehmen zu kön-

1) *Mém. de l'acad. de Belg.* T. XXIII.

2) *Compt. rend.* T. XL, p. 467.

3) *Poggend. Annal*, Bd. XCV, S. 1.

4) *Bullet. de l'acad. de Belg.* T. XXIII, pt. 1, p. 4.

nen, und giebt die Gründe dazu an; dann entwickelt er seine eigenen Ideen. Von nun an durfte ich nicht länger schweigen; ich habe mich demnach entschlossen, so kurz wie möglich eine Parallele zwischen den obigen drei Theorien und der meinigen aufzustellen.

In seiner schönen Arbeit über die Flüssigkeitsstrahlen, giebt Savart, nachdem er mittelst sinnreicher Versuche alle Particularitäten in der Beschaffenheit der aus kreisrunden Oeffnungen austretenden Strahlen entdeckt hat, bekanntlich unter der Form einer bloßen Vermuthung, einen Versuch zur Theorie dieser Erscheinungen<sup>1)</sup>. Er sucht zu zeigen, daß schon das bloße Ausfließen für sich in der Flüssigkeit des Gefäßes, aus welchem der Strahl entweicht, und in der, welche zur Mündung austritt, eine gegen die Ebene dieser Mündung winkelrechte Schwingungsbewegung veranlassen kann, und daß diese Schwingungen oder *Pulsationen an der Mündung*, indem sie auf die austretende Flüssigkeit abwechselnd drückend und ziehend wirken, *ringförmige Anschwellungen* veranlassen müssen, deren Daseyn, fortschreitende Bewegung, Entwicklung und endliche Zerfallung in vereinzelte Massen er nachgewiesen hat.

Hr. Dejean nimmt die Pulsationen an, allein er erklärt sie anders als Savart; er sagt in seinem Abrisse nicht, welcher Ursache er die Trennung der Massen zuschreibt, welche den discontinuirlichen Theil des Strahls ausmachen.

Hr. Magnus, welcher in seiner, übrigens sehr interessanten Abhandlung vor allem die beim Zusammentreffen zweier Strahlen unter gewissen Winkeln auftretenden Erscheinungen und das sonderbare Ansehen der aus Oeffnungen von verschiedener Form hervorkommenden Strahlen behandelt, verbreitet sich wenig über die Beschaffenheit der aus kreisrunden Oeffnungen fließenden Strahlen; er nimmt keine Pulsationen zu Hülfe und für den Fall, wo der Strahl ohne allen fremden Einfluß von oben nach unten fließt, schreibt er das Zerfallen der Massen dem aus

1) *Ann. de chim. et de phys.* T. 1833, V. LIII, p. 367. (Diese Ann. Bd. XXXIII, S. 451 u. 520.)

der beschleunigten Geschwindigkeit der Flüssigkeit entspringenden Zuge zu, welcher in einem hinreichenden Abstand von der Mündung stark genug werde, um die Cohäsion zwischen den Schichten des Strahls zu überwinden.

Endlich nimmt Hr. Magnus die Pulsationen an, wie Hr. Dejan, der sie seinerseits durch ihm eigenthümliche Betrachtungen erklärt, aber fühlend, daß die Pulsationen allein die Bildung isolirter Massen nicht bedingen können, schreibt er die Discontinuität derselben Ursache zu wie Hr. Magnus.

Die eben erwähnten Theorien beruhen, wie man sieht, auf zwei Hypothesen, nämlich auf der von Pulsationen an der Mündung und auf der vom Zerreißen der Flüssigkeit vermöge ihres beschleunigten Falls. Ich will nun zeigen, daß beide Hypothesen unannehmbar sind.

Sey es mir zuvor erlaubt, meine tiefe Verehrung vor Savart's Abhandlung zu bezeugen. In meinen Untersuchungen über die Flüssigkeitsader habe ich mich beständig auf die schönen Versuche dieses berühmten Physikers gestützt, und, obgleich ich hier die Hypothese von den Pulsationen bekämpfe, erkenne ich doch in dieser Hypothese ein Zug des Genies; denn wenn diese Pulsationen auch nicht in einem, jedem fremden Einfluß entzogenen Strahl existiren, so verhält es sich doch anders, wenn der Flüssigkeit von außen her Schwingungen zugeführt werden; alsdann werden die Pulsationen eine Wirklichkeit, sie üben auf den Strahl die ihnen von Savart zugeschriebenen Druck- und Zugwirkungen aus, und durch Betrachtung dieser Wirkungen, ist es mir in meiner kürzlich veröffentlichten *dritten Reihe* geglückt, alle vom Einfluß der Schwingungsbewegungen abhängigen Phänomene zu erklären.

Gehen wir jetzt an die Prüfung der erwähnten beiden Hypothesen und beginnen mit der vom Zerreißen. Die Idee eines derartigen, durch die Beschleunigung der Geschwindigkeit erzeugten Effects ist älter als die Arbeit des Hrn. Magnus. In einer 1849 der Berliner Akademie vorgelegten Abhandlung: *Ueber die Scheiben, welche sich beim*

*Zusammenstoßen zweier Wasserstrahlen bilden und über die Auflösung einzelner Wasserstrahlen in Tropfen* <sup>1)</sup> spricht Hr. Hagen, der viele Versuche über die aus kreisrunden Oeffnungen tretender Wasserstrahlen gemacht hat, von der erwähnten Idee, allein um sie zu widerlegen. Nach einigen apriorischen Betrachtungen über die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseyns einer anderen Ursache, drückt er sich so aus:

»Diese Annahme wird Gewißheit, wenn man bemerkt, daß derselbe Strahl, mag er vertical aufwärts oder abwärts gerichtet seyn, sehr nahe in derselben Entfernung von der Ausfluß-Oeffnung sich in Tropfen auflöst. In dem ersten Falle kann aber seine ursprüngliche Geschwindigkeit durch den Einfluß der Schwere schon größtentheils vernichtet, im anderen dagegen beinahe verdoppelt seyn, und dennoch ist die Erscheinung nicht wesentlich verschieden. Noch auffallender giebt sich dieses im horizontalen Strahle zu erkennen, wobei die Wirkung der Schwere fast ganz aufhört. Die Geschwindigkeit ändert sich in demselben nur nach Maafsgabe der nach und nach eintretenden Senkung. Bei starken Druckhöhen und kleinen Durchfluß-Oeffnungen ist diese Senkung für den zu untersuchenden Theil des Strahles nur unbedeutend, also die Aenderung der Geschwindigkeit und des Querschnitts unmerklich; man sollte daher auf eine ganz gleichmäßige Beschaffenheit des Strahles schließen, aber dennoch löst sich derselbe an einer bestimmten Stelle in Tropfen auf.«

Fügen wir diesen Thatsachen eine andere, aus Savart's Versuchen hergeleitete hinzu. Wenn ein Strahl zwischen gewissen Neigungsgränzen schief in die Höhe geht, breitet sich der discontinuirliche Theil in der Verticalebene zu einer Art Garbe aus: wirft man nun den Blick auf die von Savart gegebene Abbildung eines solchen Strahls, so sieht man, daß die Garbe sehr nahe am Scheitel der Krümmung des Strahls entsteht, folglich an einem Punkt wo die von der Mündung an verzögerte Geschwindigkeit

1) Poggend. Ann. Bd. LXXVIII, S. 451.



noch nicht anfangen konnte, merklich beschleunigt zu werden.

Also stellt sich erstens bei horizontalen, unter hinlänglichen Drucken und aus engen Oeffnungen austretenden Strahlen die Discontinuität an einem Punkte ein, wo die Geschwindigkeit kaum zugenommen hat, wo folglich das Ziehen zwischen zwei aneinander stossenden Schichten in keiner Weise beträchtlich seyn kann; bei Strahlen zweitens, die unter gehörigem Druck und aus gehöriger Oeffnung schief empor getrieben werden, beginnt die Discontinuität in einem Punkt, wo der Anwuchs der Geschwindigkeit noch geringer ist, und endlich bei lothrecht in die Höhe gehenden Strahlen entsteht die Discontinuität ungeachtet des Verzuges der Geschwindigkeit, eines Verzuges, der statt zwei benachbarte Schichten zu trennen, sie im Gegentheil offenbar zusammendrängen müßte.

Obwohl diese Gründe als peremptorisch betrachtet werden müssen, könnte doch Hr. Magnus versucht seyn, ihnen zu widersprechen. In der That sagt weder Hr. Savart, noch Hr. Hagen, daß die erwähnten Strahlen dem Einflusse der kleinen Schwingungen entzogen wurden, die von äußeren Geräuschen und vom Stofs des discontinuirlichen Theils gegen die Flüssigkeit, in die er fällt, entspringen. Nach den Ideen des Hrn. Magnus sind aber die in einem Strahle fortgepflanzten Erzitterungen eine kräftige Ursache des Zerreißens, weil, sagt er, verunöge dieser Erzitterungen, eine Flüssigkeitsschicht zurückgezogen und dagegen die dicht davor befindliche nach vorne gestossen wird. Allein dann müßte bei aufsteigenden Strahlen das Zerreißen am zusammengezogenen Querschnitt d. h. dicht an der Mündung geschehen, weil hier der Strahl die geringste Dicke hat und weil in diesem Punkt die Fortbewegung noch keine merkliche Verzögerung erlitten hat; weiter hin würden die wachsende Dicke des Strahls und die allmähliche Abnahme der Geschwindigkeit, — aus welcher Abnahme, wie schon bemerkt, eine Tendenz zum Zusammen-



drängen der Schichten erfolgen würde, — die zerreisende Wirkung der Erzitterungen immer schwieriger machen.

Ich habe übrigens den Garben - Versuch wiederholt, dabei anfangs den kleinen schwingenden Einflüssen alle Freiheit lassend, und dann mit den von Savart angezeigten Vorsichtsmafsregeln zur Unterdrückung derselben. Im ersten Fall war das Resultat beinahe entsprechend der erwähnten Abbildung, die sich ohne Zweifel auf ähnliche Umstände von Druckhöhe und Mündung wie die bei meinem Versuche bezieht; im zweiten Fall wich es nicht bedeutend davon ab, wie man sogleich sehen wird.

Der Strahl sprang aus einer Mündung von 3 Millim. Durchmesser unter einem Winkel von  $35^{\circ}$  mit der Horizontalen. Die Amplitude des Strahls, d. h. der horizontale Abstand des äußersten Fadens der Garbe von der Mündung, veränderte sich, in Folge der Verringerung der Druckhöhe, von 1<sup>m</sup>,45 auf 1<sup>m</sup>,27, und die verticale Höhe des Gipfels des Strahls über der durch die Mündung gezogenen Horizontallinie von 0<sup>m</sup>,34 auf 0<sup>m</sup>,32. Bei der zweiten Beobachtung ruhte das Gefäß, woraus der Strahl entwich, mittelst eines mehrmals zusammengelegten und eine Dicke von 8 Centm. bildenden Teppichs auf einen massiven Tisch, unter dessen Füße Kissen gelegt waren. Das Gefäß, in welches die Garbe sich ergoß, ruhte auf einem Haufen Heu, und die Garbe bespritzte ein dickes zweckmäfsig geneigtes Brett. Ausserdem hatte ich die Mündung nach unten mit einem analogen System wie das von Hrn. Magnus beschriebene versehen, um gewisse Rotationsbewegungen der Flüssigkeiten zu verhüten; auch war der klare Theil des Strahls ganz oder sehr nahe regelmäfsig. Ungeachtet aller dieser Vorsichtsmafsregeln war der Effect der kleinen, von äufseren Geräuschen entstehenden Vibrationen nicht vollständig vernichtet, denn der continuirliche und der klare Theil des Strahls erlitten, durch Intermissionen, Verkürzungen, und man brauchte in der Nähe des Strahls nur zu sprechen, um diese Verkürzung stärker zu machen. Allein es ist klar, dafs das, was noch von Vibrationsbewegungen

übrig blieb, sehr gering seyn mußte. Dennoch zeigte sich die Garbe eben so gut wie unter dem freien Einfluß dieser Bewegungen, und ihr Entstehungspunkt überschritt den Gipfel des Strahls niemals um mehr als 12 Centimeter.

Wenn andererseits in einem von oben nach unten fließenden und jedem fremden Einfluß entzogenen Strahl das von der Beschleunigung der Geschwindigkeit veranlaßte Ziehen die Ursache der Zerfällung wäre, so müßte die Länge des continuirlichen Theils unabhängig seyn vom Durchmesser der Mündung. In der That würden, unter gleichem Druck, das totale Ziehen zwischen zwei dicht auf einander folgenden Molecularschichten und der totale Widerstand, welcher aus der diese Schichten vereinigenden Cohäsion entspringt, offenbar beide proportional seyn der Anzahl von Moleculen, welche dieselben Schichten zusammensetzen. Wenn also, für eine bestimmte Mündung und für einen bestimmten Abstand von dieser, die Wirkung des Ziehens der der Cohäsion gleich käme, so daß die Adhärenz zwischen zwei Schichten zerstört würde, so müßte es, bei gleichem Abstand, für einen unter gleichem Druck austretenden Strahl gleich seyn, ob die Mündung groß oder klein wäre; denn bei diesem Abstand würde der Anwuchs der Geschwindigkeit derselbe seyn wie bei dem ersten Strahl, und die totalen Wirkungen des Ziehens und der Cohäsion würden beide in gleichem Verhältniß vergrößert oder verringert werden. Allein die Erfahrung lehrt, daß im Gegentheil, unter gleichem Druck, die Länge des continuirlichen Theils fast proportional ist dem Durchmesser der Mündung.

Endlich ist leicht *a priori* einzusehen, daß das von der Beschleunigung der Geschwindigkeit entstehende Ziehen in Wirklichkeit keine Tendenz zur Zerfällung bewirkt; denn, wenn dieses Ziehen die Moleküle der Flüssigkeit von einander entfernte, würde die Dichtigkeit im zusammenhängenden Theil von oben nach unten abnehmen; allein, wie wenig man auch über die relative Beweglichkeit der Moleküle der Flüssigkeit nachdenkt, man wird bald über-

zeugt, daß diese Abnahme der Dichtigkeit unmöglich ist. Denn sobald zwei Molecüle sich von einander zu entfernen streben, schiebt sich ein anderes Molecül zwischen dieselben, und daraus folgt, daß das Ziehen nichts anders thun kann, als den Strahl unter Verdünnung zu verlängern; und da die Beschleunigung gleichmäfsig in der ganzen Ausdehnung des Strahls existirt, so ist klar, daß sie alleinig strebt, den Durchmesser des Strahls, von der Mündung ab, vollkommen continuirlich und regelmäfsig zu verringern, ohne in irgend einem Abstand von der Mündung eine Tendenz zur Abtrennung zu veranlassen.

Ueberlegung und Erfahrung kommen also darin überein, die Unzulässigkeit der Hypothese des Abreissens darzuthun. Gehen wir nun zu der von den Pulsationen über.

Bemerken wir zunächst, daß diese letztere, wie es scheint, an sich wohl schwierig zu rechtfertigen ist, da Hr. Dejan sich nicht mit der Erklärung von Savart begnügt hat, und Hr. Maus eine noch andere aufgesucht hat. Und in der That beim Ausfließen eines vor fremden Einflüssen vollständig geschützten Strahles, einem Phänomene, wo alles für die Continuität disponirt zu seyn scheint, würde die einzige natürliche Betrachtungsweise der abwechselnden Verringerungen und Verstärkungen in der Ausflugs- geschwindigkeit der Flüssigkeit, oder der Pulsationen an der Mündung, in der Annahme bestehen, daß die Reibung der Flüssigkeit an dem Rande der Mündung diesen Rand in Schwingungen versetze und daß diese Schwingungen sich der Flüssigkeit mittheilen. Allein Savart, dem sich diese Idee sogleich darbot, hat sich versichert, daß wenn man den Umfang der Mündung mit einem soliden und widerstehenden Körper berührt, was die Schwingungen desselben hemmen oder wenigstens schwächen müßte, man keine Veränderung im Zustand des Strahls erblickt. Es sind also keineswegs Schwingungen des Randes der Mündung, welche die Pulsationen der Flüssigkeit verursachen können; allein welcher Ursache man auch diese Pulsationen zuschreiben wolle, sie würden immer, wenn sie existirten, eine Vibra-

tionsbewegung der Flüssigkeit herbeiführen, und diese Bewegung würde sich nothwendig dem Rande der Mündung mittheilen; und dann, wenn man, wie Savart es that, die Vibrationen dieses Randes hindert, würde man auch die Pulsationen der Flüssigkeit hindern, und der Zustand des Strahls würde es empfinden; wie geschieht es also, daß dieser Zustand keine merkbare Veränderung erleidet.

Gehen wir weiter. Savart, der mittelst eines von ihm beschriebenen Verfahrens die Anschwellungen des continuirlichen Theils der Ader beobachtete, hat ihr Daseyn nur von einem kleinen Abstand von der Mündung an nachweisen können, und Hr. Hagen, der für diese Art von Beobachtungen ein besonderes Verfahren erdacht hat, bestätigt dasselbe in der zuvor erwähnten Abhandlung. Daraus folgt, daß wenn diese Anschwellungen, welche von der Translationsbewegung der Flüssigkeit mit fortgeführt werden, von der Mündung selbst ausgehen, sie daselbst äußerst unbedeutend seyn müssen. Allein nach Savart sind sie desto hervorstechender je weiter von der Mündung ab man sie beobachtet, bis man sich dem Ende des continuirlichen Theils nähert, wo sie eine sehr große Entwicklung nehmen, und endlich, an diesem Ende selbst, trennen sie sich eine nach der anderen zu isolirten Massen ab. Savart spricht nicht ausdrücklich von den mit diesen Anschwellungen abwechselnden Einschnürungen, allein es ist klar, daß die Anschwellungen sich nicht anders bilden und vergrößern können als auf Kosten der dazwischen liegenden Portionen, so daß diese sich aushöhlen und verdünnen müssen, und zwar um so mehr als die Anschwellungen mehr hervortreten. Gesetzt nun für einen Augenblick, daß die Anschwellungen und die Einschnürungen von Pulsationen an der Mündung herrühren, und daß, wie Savart meint, diese Vibrationsbewegung sich dem ganzen continuirlichen Theile des Strahls mittheile. In dieser Hypothese würde jede beim Austritt aus der Mündung durch eine comprimirende Pulsation angeschwellte Portion der Flüssigkeit bald, während sie sich fortbewegt, durch die entgegengesetzt von ihr aus-

geführten Vibrationen in eine Einschnürung verwandelt werden, um von Neuem in eine Anschwellung überzugehen, wiederum eine Einschnürung zu werden, und sofort; jede ursprünglich durch eine ausziehende Pulsation eingeschnürte Portion würde zur selben Zeit umgekehrte Veränderungen erleiden. Allein nach dem Vorbergesagten würden diese successiven Veränderungen jeder Flüssigkeitsportion oder diese Vibrationen, welche sie während ihrer Fortbewegung erleiden, von der Mündung an bis zum Ende des continuirlichen Theils an Amplitude zunehmen, und zwar in außerordentlichem Maasse, weil nahe bei der Mündung die Anschwellungen und die Einschnürungen so geringfügig sind, daß die feinsten Verfahrungsarten sie nicht nachweisen können. Nun aber ist es unmöglich, diesen Amplituden-Anwuchs der Vibrationen in dem Strahle zu erklären; dieser Anwuchs würde eine Wirkung ohne Ursache seyn.

Schließen wir aus dieser Prüfung, daß die Hypothese von Pulsationen, die an der Mündung durch das Ausfließen selbst erzeugt und durch eine Vibrationsbewegung in dem Strahle fortgepflanzt werden, eben so gut verworfen werden muß wie die vom Zerreißen, erzeugt durch die Beschleunigung der Translationsgeschwindigkeit der Flüssigkeit.

Um nichts zu übergehen, muß ich sagen, daß Hr. Magnus das Daseyn von Anschwellungen in einem, jedem fremden Einfluß entzogenen Strahl leugnet. Allein Hr. Magnus begründet dieses Leugnen nur durch den Anblick der klaren Portion eines solchen Strahls, die sich vollkommen glatt erweist. »Man würde sie — sagt er — für einen Umdrehungskörper vom klarsten Glase halten, denn man erblickt darin nicht die geringste Bewegung. Savart, wo er von dem klaren Theil derjenigen Strahlen spricht, die frei den kleinen, von äußeren Geräuschen und von dem Fall der Flüssigkeit in das Auffange-Gefäß herrührenden Vibrationsbewegungen ausgesetzt sind, drückt sich so aus: »Kein Theil dieser Portion des Strahls . . . läßt eine Spur von Anschwellung wahrnehmen«. Und in dem

Rückblick am Schlusse seiner Abhandlung: »Dieser erste Theil des Strahls ist ruhig und durchsichtig und ähnelt einem Glasstabe«. Und dennoch ist es dieser selbe Theil der erwähnten Strahlen, in welchem er mittelst seines sinnreichen Verfahrens das Daseyn von Anschwellungen nachgewiesen hat, von desto hervortretenderen als man sie in großem Abstände von der Mündung beobachtet. Man kann sich also nicht auf das ruhige und glatte Ansehen des klaren Theils eines Strahls berufen, um zu behaupten, daß es daselbst keine Anschwellungen gebe; dieses Ansehen ist eine Täuschung, herrührend von der Geringfügigkeit der Anschwellungen in diesem Theil des Strahls und von der Schnelligkeit ihrer Fortbewegung. Wenn Hr. Magnus das Verfahren von Savart, oder das von Matteucci <sup>1)</sup> oder eins der von Hrn. Billet-Sélys <sup>2)</sup> angewandt hätte, so würde er ohne Zweifel das Daseyn der Anschwellungen erkannt haben, ungeachtet der Strahl jeder Vibrationswirkung entzogen war; denn weil das Abreißen unmöglich ist, muß die Trennung der Massen herbeigeführt werden durch Bildung von Einschnürungen, die desto mehr Tiefe erlangen als sie sich mehr dem Ende des continuirlichen Theiles nähern, und diese Einschnürungen erfordern Anschwellungen, deren Vorsprünge dieselben Vergrößerungsstufen durchlaufen.

Stellen wir nun den mit diesen Hypothesen verknüpften Schwierigkeiten die Principien meiner Theorie gegenüber.

Alle Physiker kennen gegenwärtig das Verfahren, durch welches ich die Wirkung der Schwere auf eine beträchtliche Masse Flüssigkeit aufhebe und dabei dieser Masse Freiheit lasse, den Molecularwirkungen zu gehorchen. Mittelst dieses Verfahrens und eines ganz anderen habe ich flüssige Cylinder dargestellt und die Eigenschaften derselben studirt. Ich habe dadurch folgende Thatsachen festgestellt (Siehe meine *Zweite Reihe* §§. 37 bis 68).

1) *Compt. rend.* 1856 T. XXII, p. 260.

2) *Ann. de chim. et de phys.* 1851 T. XXXI, p. 326. (*Annalen* LXXXIII. 597.)

1. Ein flüssiger Cylinder stellt eine stabile Gleichgewichtsfigur dar, so lange das Verhältniß zwischen seiner Länge und seinem Durchmesser eine gewisse, zwischen 3 und 3,6 liegende Gränze nicht erreicht. Ich füge hinzu, daß eine apriorische Methode, von der ich bisher nur das Resultat veröffentlicht habe <sup>1)</sup>, mir für den genauen Werth die Zahl  $\pi$ , d. h. das Verhältniß des Kreisumfangs zum Durchmesser, gegeben hat.

2. Ueber diese Gränze hinaus constituirt der Cylinder eine instabile Gleichgewichtsfigur, so daß man ihn nicht im permanenten Zustand erhalten kann, wenigstens nicht ohne gewisse Stützen.

3. Ein flüssiger Cylinder, dessen Länge gegen den Durchmesser sehr groß ist, verwandelt sich durch freiwilliges Zerfallen des Gleichgewichts in eine Reihe einzelner gleichgroßer aequidistanter Kugeln, deren Mittelpunkte auf der früher die Axe des Cylinders bildenden Geraden liegen, und in deren Zwischenräumen, auf derselben Geraden, Kügelchen von verschiedenem Durchmesser befindlich sind.

4. Diese Umwandlung beginnt mit der Bildung regelmäßig vertheilter Einschnürungen, die mit Anschwellungen abwechseln; diese treten immer mehr und mehr hervor; die Vertiefungen der ersten und die Vorsprünge der letzteren nehmen immer zu. Wenn die Einschnürungen in ihren Mitten ziemlich dünn geworden sind, reißen sie aber nicht plötzlich durch; vielmehr zieht sich die Flüssigkeit an jeder Seite der Mitten nach den Anschwellungen hin, diese, auf kurze Zeit, noch durch einen beinahe cylindrischen Faden vereinigt lassend; endlich wandeln sich diese Fäden selbst nach Art der Cylinder um, und durch Abreißen der dünneren, die durch das Ausziehen entstanden sind, scheiden sich kleine Massen aus, welche die obigen Kügelchen bilden, während die großen Massen, die aus den Anschwellungen des ursprünglichen Cylinders hervorgehen

1) Poggendorff's Annalen 1850, Bd. LXXX, S. 566.



und dann ebenfalls isolirt sind, ihrerseits eine Kugelgestalt annehmen.

5. Diese freiwillige Veränderung und diese Umwandlung, die als Endresultat isolirte Kugeln mit dazwischen gereihten Kügelchen giebt, sind keineswegs den Cylindern eigenthümlich; sie kommen auch bei jeder flüssigen Figur vor, deren eine Dimension beträchtlich ist gegen die beiden andern.

Endlich habe ich noch andere Eigenschaften aufgefunden, die in meiner *zweiten Reihe* auseinander gesetzt sind, deren Erwähnung aber hier nicht nöthig ist.

Für Personen, die meine Versuche nicht wiederholt haben, will ich, zur Stütze obiger Thatsachen, ein Phänomen anführen, das alle Physiker beobachtet haben. Wenn man durch einen dünnen, horizontal ausgespannten Eisendraht eine elektrische Entladung leitet, die ihn zu schmelzen, aber nicht zu verflüchtigen vermag, so sieht man den Draht erst weifsglühend werden und zugleich, in Folge seiner Längenausdehnung, sich biegen; darauf sieht man ihn sich in eine große Zahl getrennter Kügelchen auflösen, die niederfallen und sich beim Erkalten als von runder Form erkennen lassen. Dieser Draht constituirt nun, im Moment seiner Schmelzung, durch die Elektrizität eine flüssige Figur, die den oben unter No. 5 aufgestellten Bedingungen genügt.

Ich will hinzufügen, daß Hr. Beer in einer 1855 veröffentlichten Abhandlung <sup>1)</sup> die mathematische Analyse auf die in meiner ersten Reihe beschriebenen Thatsachen anwendet und dabei beiläufig die Frage von der Stabilität flüssiger Cylinder behandelt. Von bloßen Datis in Betreff der Molecularconstitution der Flüssigkeiten ausgehend, gelangt er *a priori* und alleinig durch den Calcul zu dem Resultat, welches ich selbst schon, aber auf einem ganz anderen Wege, erhalten hatte, d. h. er findet für den genauen Werth der Gränze dieser Stabilität die Zahl  $\pi$ .

1) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 1 und 210.



Dieser Calcül, welcher den meinigen vollständig bestätigt, sanctionirt also eins der Hauptresultate meiner Beobachtungen; es zeigt die absolute Nothwendigkeit desselben und giebt das genaue Maafs des Phänomens.

Ein flüssiger Strahl nun, der in irgend einer Richtung fortschießt, befindet sich unter der Bedingung von No. 5, d. h. er constituirt eine flüssige Figur, deren Länge gegen die Querdimensionen beträchtlich ist; er muß, aus platter Nothwendigkeit, sich selbst ändern, sich allmählich und continuirlich in eine Reihe isolirter Kugeln mit dazwischen liegenden Kügelchen verwandeln, und dieser Vorgang muß durch Bildung von Anschwellungen und Einschnürungen geschehen, die immer stärker werden, bis die besagten Fäden entstehen und abreißen. Da aber die Flüssigkeit des Strahls in einer Fortbewegung begriffen ist, welche die Anschwellungen und Einschnürungen wegführt, so ist es auf dieser Bahn, wo jede von ihnen alle die progressiven Modificationen vollführt, so daß jede im Anfangszustand von der Nähe der Mündung ausgehende Anschwellung erst in einem mehr oder weniger großen Abstand von dieser Mündung den Zustand der isolirten Masse erreicht. Da überdies die Flüssigkeit des Strahls sich unaufhörlich erneuert, so muß auch die Umwandlung sich unausgesetzt erneuen. Daher denn der continuirliche und der discontinuirliche Theil des Strahls. Daher ferner die Entstehung von anfangs kaum merklichen Anschwellungen und Einschnürungen nahe bei der Mündung, das Fortgehen derselben mit der Flüssigkeit unter stetigem Anwachsen, bis daß diese Anschwellungen, indem sie eine nach der anderen das Ende des continuirlichen Theils erreichen, sich successive ablösen und ihren Lauf als isolirte Massen fortsetzen, welche Kugelgestalt annehmen oder anzunehmen suchen; daher auch noch die zwischen diese Massen eingeschalteten Kügelchen; daher endlich — da die Furcht vor zu großer Länge dieser Note mich abhält alle Thatsachen aufzuzählen — die von Savart entdeckten Gesetze, welche die Länge des continuirlichen Theils, so wie den vom Stofs

des Strahls erzeugten Ton, verknüpfen mit der Druckhöhe und dem Durchmesser der Mündung.

Man sieht, in dem, was meine Theorie Fundamentales hat, sind keine Hypothesen, sondern Thatsachen und die unvermeidlichen Folgerungen aus denselben, Folgerungen von solcher Schärfe, daß, wenn uns die bewundernswürdige Arbeit Savart's nicht schon die wahre Constitution der aus kreisrunden Oeffnungen hervortretenden Flüssigkeitsstrahlen entschleierte hätte, meine Versuche sie mit ihren Einzelheiten und ihren Gesetzen würden voraussehen lassen. Meine Theorie geht sogar weiter, denn sie zeigt, daß die von Savart aufgefundenen Gesetze nur Grenzen sind, denen man sich desto mehr nähert, je stärker die Druckhöhen und je kleiner die Oeffnungen sind. Die Tafeln der Beobachtungen des berühmten französischen Physikers bestätigen vollkommen diese Deduction.

Es bleibt mir noch, die Verknüpfung meiner Theorie mit den aus dem Einfluß der Töne hervorgehenden Phänomenen nachzuweisen; das habe ich, wie schon gesagt, in meiner *dritten Reihe* gethan. Wenn dem Gefäße und der Flüssigkeit darin wirklich Schwingungen mitgetheilt werden, so ist der Satz von Pulsationen an der Mündung keine rohe und unwahrscheinliche Hypothese mehr, wird vielmehr fast Gewißheit. Nun habe ich gezeigt, daß wenn der Ton, welcher auf einen Strahl einwirkt, genau im Einklang ist mit dem, der aus dem Stofs des discontinuirlichen Theils gegen eine ausgespannte Membran hervorgeht, die Bildung von Anschwellungen und Einschnürungen durch Schwingungen an der Mündung vollkommen coïncidirt mit der von Anschwellungen und Einschnürungen durch Molecularkräfte, so daß also zwischen beiden Wirkungsweisen eine absolute Uebereinstimmung herrscht. Aus diesem einfachen Princip habe ich die Erklärung aller von Savart beobachteten Erscheinungen abgeleitet.

Wenn ich in der Gesamtheit dieser theoretischen Untersuchungen einige Hypothesen zu Hülfe nahm, so sind sie doch rein accessorisch, und sie dienen nur dazu, gewisse

Thatsachen zu erklären, die zu verwickelt sind, um die Action jedes der zu ihrer Entstehung beitragenden Elemente genau festsetzen zu können.

Gehen wir endlich zu den Gründen über, auf welche Hr. Maus sich stützt, um seinen Widerspruch zu rechtfertigen. Er spricht sie in folgendem Satze aus:

»Es fällt mir schwer, mit Hrn. Plateau anzunehmen, daß, bei einer hauptsächlich durch die Schwere hervorgerufenen Erscheinung, diese Kraft vollständig ausgeschlossen sey, um die Gestaltung der bewegten Massen alleiniger viel schwächeren Molecularkraft zuzuschreiben.«

»Mein Bedenken wuchs, als ich bemerkte, daß Hr. Plateau, um die Ausschließung der Schwere zu rechtfertigen, diese Kraft nur von der Ausflußöffnung an auf den flüssigen Strahl wirken läßt, ohne deren Wirkung auf die im Gefäß enthaltene Flüssigkeit in Betracht zu ziehen, eine Wirkung, welche durch die Art, wie sie die Molecule der Flüssigkeit gegen die Mündung zieht, auf die Gestalt des zum Gefäß austretenden Strahls einen Effect ausübt, welchen die unter dem Namen *Contraction* oder *Inversion* des Strahls bekannten Erscheinungen nicht zu bezweifeln erlauben.«

»Die schönen Versuche über die flüssigen Strahlen, welche Hr. Prof. Richelmi in jedem Jahr in der hydraulischen Anstalt von La Parella, bei Turin, anstellt, und welche mich eine Art von Gegensatz zwischen den verschiedenen Gestalten der zum Versuch angewandten Oeffnungen und den daraus in geringem Abstand davon entstehenden Profilen des Strahls kennen lehrten, hatten mich nicht vorbereitet, von der inneren Wirkung auf die Gestalt des Strahles abzustehen.«

Es ist unmöglich, hierin wahre Einwürfe zu erblicken. Ohne Zweifel ist es die Schwere, welche die Flüssigkeit fortreibt und somit den Strahl bildet; allein, sobald einmal die Flüssigkeit zur Mündung ausgetreten und mit ihrer Translationsbewegung begabt ist, können offenbar die Molecularkräfte, die inneren Kräfte des Systems, ihre Wir-

kung ganz ungehindert ausüben, sie mögen nun stärker seyn als die Schwere oder nicht, ganz so, wie die Feder einer Uhr die Zeiger zu drehen fortführt, während man die Uhr von einem Ort zum andern bringt. Hr. Maus selbst nimmt dieses an, indem er, wo er von der Beschleunigung der Geschwindigkeit als Ursache des Abreißens spricht, äußert: »Und wenn diese Wirkung so lange gedauert hat, daß sie die flüssige Masse zertheilt, kommt die Molecularkraft dazwischen, um den isolirten Massen die Kugelgestalt zu geben, welche die Tropfen annehmen.«

Die Contraction des Strahls spielt eine wichtige Rolle in der Theorie des Hrn. Maus; allein in der meinigen folgt aus dem Contractionsphänomene einfach, daß ich die Wirkung der Molecularkräfte nur von demjenigen Querschnitt des Strahls ab zu betrachten habe, wo diese Contraction aufhört, weil bloß von da ab der Strahl seine verlängerte Gestalt annimmt.

Was die Umkehrungen betrifft, die sich bei den Strahlen aus nicht kreisrunden Oeffnungen zeigen, so will ich bemerken, daß sie nichts gemein haben mit den Anschwellungen und Einschnürungen, welche das Zerfallen zu isolirten Massen vorbereiten, weil diese von der Translationsbewegung der Flüssigkeit fortgeführt werden, während die Umkehrungen feste Stellen in dem klaren Theil des Strahles einnehmen. Und überdies kann Hr. Maus aus dem den Einfluß der Gestalt der Mündungen betrachtenden Theil der Abhandlung des Hrn. Magnus ersehen, daß der Verfasser gerade durch Zuhülfeziehung der Molecularkräfte dahin gelangt, die erwähnten Umkehrungen vollständig zu erklären.

Ich kann nicht schließeln, ohne im Ganzen der Arbeit des Hrn. Magnus das verdiente Lob zu spenden. Die Stellen, welche ich angegriffen habe, bilden nur einen kleinen Theil derselben, und alles Uebrige scheint mir sowohl in theoretischer als in experimenteller Hinsicht sehr merkwürdig zu seyn.

---

VI. *Ueber die Festigkeit von Eisendrähnen, die  
con galvanischen Strömen durchlaufen wurden;  
von Hrn. L. Dufour,*

Prof. d. Physik an d. Akad. zu Lausanne.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. *Bullet. de la Société vaudoise des  
Sciences naturelles.*)

Die Metalldrähte, durch welche man galvanische Ströme leitete, sind wenig anders als in Bezug auf ihre Temperatur und während des Durchgangs dieser Ströme untersucht worden. Es könnte indeß sehr wohl seyn, daß Eigenschaften anderer Art verändert würden.

Wenn Drähte von geringem Durchmesser häufig als Leiter gedient haben, findet man oft mit Erstaunen, daß sie beim Biegen leicht brechen, und es scheint, daß zwischen ihrem Zustande vor und nach ihrer Anwendung als Leiter ein ähnlicher Unterschied bestehe wie zwischen ungehärteten und gehärteten Stahlstäben. Es hält schwer, diese Veränderung genau zu messen, aber es ist leicht eine Verschiedenheit zu bemerken. Meinerseits war ich oft überrascht von der Brüchigkeit der Kupferdrähte, die als Leiter gedient hatten und die, nach ziemlich langem Gebrauch, nicht ohne Abreißen mehrmals aufgewickelt werden konnten <sup>1)</sup>. Dieß veranlaßte mich zu sehen, ob Drähte in ihrer Festigkeit in dem einen oder anderen Sinn merklich verändert würden, wenn man sie lange Zeit dem Einflusse eines Stromes aussetzte.

Die angewandten Drähte hatten durchschnittlich einen Durchmesser von 0<sup>m</sup>,356. Es war nothwendig, zuvor durch viele Versuche ihre normale Zähigkeit zu ermitteln. Folgendes waren die Resultate:

1) Schon Peltier machte vor etwa 10 Jahren eine ähnliche Beobachtung (*Compt. rend. T. XX, p. 62. Diese Ann. Bd. 65, S. 646.*) P.

## I.

Länge des Drahts.	Gewicht zum Abreißen nöthig.	Länge des Drahts.	Gewicht zum Abreißen nöthig.
0 <sup>m</sup> ,50	6,000 Kilogr.	0 <sup>m</sup> ,60	7,120 Kilogrm.
38	5,150	51	7,930
35	6,910	55	7,900
32	6,000	46	7,740
98	6,000	40	7,830
95	7,000	30	7,150
72	6,940	30	7,020
65	6,500		
62	7,120		

Die vorstehende Tafel bezieht sich auf Versuche, bei denen man den Draht an beiden Enden einklemmte, zwischen die Wände eines cylindrischen Lochs und die Aufsenseite eines Stifts von sehr verlängert konischer Form. Die untere Klemme trug eine Schale, in welche man die Gewichte legte; die obere Klemme wurde von einem durchlöcherten Brett gehalten.

Apriori würde man zu glauben geneigt seyn, dafs ein und derselbe Draht eine weniger grofse mittlere Zähigkeit zeigen müfste, wenn man eine gröfsere Länge von ihm untersuchte. In der That geschieht das Reißen an Punkten, die schwächer sind als die benachbarten; diefs mufs man gewissermafsen einem Mangel an Homogenität zuschreiben, wie grofs übrigens das zum Abreißen nöthige Gewicht auch seyn mag. Bei einem und demselben Draht giebt es aber eine gröfsere Anzahl dieser *wahrscheinlich* schwächeren Punkte, je länger der Draht ist. Die Zahlen der Tafel I zeigen diese Folgerungen nicht. Es zeigt sich darin eine grofse Unregelmäfsigkeit und das Mittel der Abreisungen bei gröfseren Längen übertrifft nicht das bei geringeren.

Drähte von verschiedenen Stellen der Rolle, welche zu den Versuchen I gedient hatte, wurden vier Tage und eine Stunde lang ununterbrochen einem Strome ausgesetzt; alsdann auf ihre Zähigkeit untersucht, lieferten sie folgende Resultate:

## II.

Länge d. Drahts.	Gewicht z. Abreißen.	Mittel.
0 <sup>m</sup> ,45	6 <sup>k</sup> ,5 — 7 <sup>k</sup> ,0	6 <sup>k</sup> ,75
35	5 ,5 — 6 ,0	5 ,75
32	5 ,0 — 5 ,5	5 ,25
30	6 ,0	6 ,00
35	6 ,0 — 6 ,33	6 ,165

Die Zahlen der zweiten Spalte zeigen die *sicheren* Grenzen, zwischen denen das Abreißen stattfindet; ohne große Irrthümer kann man die Mittel zwischen diesen Grenzen als genaue Zahlen ansehen; so ist die dritte Spalte gebildet.

Andere Längen desselben Drahts wurden nun 19 Tage und 7 Stunden hindurch dem Strome ausgesetzt. Ihre Zähigkeit ist in Tafel III angegeben.

## III.

Länge d. Drahts.	Gewicht z. Abreißen.	Mittel.
0 <sup>m</sup> ,65	4 <sup>k</sup> ,0 — 4 <sup>k</sup> ,5	4 <sup>k</sup> ,25
30	4 ,0 — 4 ,5	4 ,25
18	5 ,5 — 6 ,0	5 ,75
34	6 ,5 — 7 ,0	6 ,75
40	5 ,0 — 5 ,5	5 ,25
65	5 ,0	5 ,0
40	6 ,0	6 ,0
32	5 ,0 — 5 ,5	5 ,25
21	5 ,0 — 5 ,5	5 ,25
10	5 ,0 — 5 ,5	5 ,25

Neben den Drähten der Tafel III waren andere auf vollkommen dieselbe Weise ausgespannt, die nicht vom Strome durchlaufen wurden, um zu sehen, welchen Einfluss die äußere Luft und andere Umstände als der Durchgang des galvanischen Stroms haben möchten. Nach 19 Tagen untersucht, gaben sie folgende Werthe:

## IV.

Länge d. Drahts.	Gewicht z. Abreißen.	Mittel.
0 <sup>m</sup> ,80	6 <sup>k</sup> ,00 — 6 <sup>k</sup> ,50	6 <sup>k</sup> ,25
35	6 ,00 — 6 ,42	6 ,21
40	5 ,50	5 ,50

Länge d. Drahts.	Gewicht z. Abreißen.	Mittel.
0 <sup>m</sup> ,35	6 <sup>k</sup> ,83	6 <sup>k</sup> ,83
34	6 ,24	6 ,24
70	6 ,50 — 7 ,70	6 ,75
25	6 ,00 — 6 ,50	6 ,25

Die obigen Versuche wurden auch mit Eisendrähten von durchschnittlich 0<sup>m</sup>,248 Durchmesser angestellt. Alle Umstände: Intensität des Stroms, Dauer des Versuchs u. s. w. waren vollkommen dieselben. Die Resultate waren:

#### A. Natürlicher Draht.

Länge.	Gewicht z. Abreißen.
0 <sup>m</sup> ,80	2 <sup>k</sup> ,50
82	2 ,59
50	2 ,50
43	2 ,42
81	2 ,74
66	2 ,56
46	2 ,50

#### B. Draht, 4 Tage und 1 Stunde vom Strom durchlaufen.

Länge.	Gewicht.
0 <sup>m</sup> ,40	2 <sup>k</sup> ,62
30	2 ,28
40	2 ,85

#### C. Draht, 19 Tage 7 Stunden vom Strom durchlaufen.

Länge.	Gewicht.
0 <sup>m</sup> ,42	2 <sup>k</sup> ,83
35	2 ,83
40	3
30	3
25	2 ,80

Die galvanischen Ströme waren die eines Bunsen'schen Elements und die gesammte Länge der Kette ging niemals über 4 Meter.

Nimmt man nun die Mittelwerthe, so findet man folgende Zahlen:



Natürlicher Kupferdraht, Taf. I, reißt bei einem Gewicht von . . . . .	6 <sup>k</sup> ,9925
Natürlicher Kupferdraht, Taf. IV, unter gleichen Bedingungen wie der Leitdraht dem Strome 19 Tage 7 Stunden ausgesetzt, reißt bei . . . . .	6 ,290
Der Draht, Taf. II, 4 Tage dem Strom ausgesetzt, reißt bei . . . . .	5 ,983
Der Draht, Taf. III. 19 Tage 7 Stunden durchlaufen, reißt . . . . .	5 ,340
Natürlicher Eisendraht, Taf. A reißt bei . . . . .	2 ,5143
Draht, Taf. B, 4 Tage 1 Stunde durchlaufen, reißt bei . . . . .	2 ,5833
Draht, Taf. C, 19 Tage 7 Stunden durchlaufen, reißt bei . . . . .	2 ,898

Die beiden ersten Angaben der Tafel III können als zu verschieden von den andern erscheinen, als daß man sie nicht einer besonderen Ursache, verschieden von der allgemeinen, zuschreiben könnte. Wenn man sie ausschließt, wird das Mittel 5,900, und die weiter unten aufgestellten Schlüsse werden nicht modificirt.

Die vorstehenden Versuche sind nicht zahlreich genug, als daß die Resultate, erhalten durch Verfahrensarten, denen ich keine große Genauigkeit beilegen möchte, ein physikalisches Gesetz abzuleiten erlaubten.

Ohne Zweifel könnte ein ungewöhnlicher Zufall mich in gewissen Fällen mit stärkeren oder schwächeren Strecken des *natürlichen* Drahts haben operiren lassen; ohne Zweifel müßte man, um mit Sicherheit einen Schluss zu ziehen, diese Versuche oftmals wiederholen, die Methode variiren und die Zähigkeit *eines und desselben Drahtstückes* vor und nach dem Durchgang des Stromes untersuchen. Für den Augenblick lassen sich die Mittelwerthe also auslegen:

1. Ein versilberter Kupferdraht von 0<sup>m</sup>,356 Durchmesser hatte nach dem Durchgang eines galvanischen Stroms an Festigkeit verloren.

2. Die Abnahme der Festigkeit war nach einem Durchgang von 19 Tagen und 7 Stunden gröfser als nach einem Durchgang von 4 Tagen und 1 Stunde.

3. Ein Eisendraht von 0<sup>m</sup>,248 Durchmesser hatte nach dem Durchgang eines Stromes an Festigkeit gewonnen.

4. Die Zunahme der Festigkeit war nach 19 Tagen und 7 Stunden gröfser als nach 4 Tagen und 1 Stunde.

Die Verschiedenheit, die hier in der durch den Strom bewirkten Festigkeitsveränderung zwischen dem versilberten Kupferdraht und dem Eisendraht vorhanden zu seyn scheint, wird vielleicht weniger ungewöhnlich erscheinen, wenn man erwägt, dafs die Härtung in entgegengesetzter Weise auf Kupfer- und auf Stahl-Legirungen wirkt. Das Kupfer erweicht ein wenig durch die Härtung. Die zu den Versuchen angewandten Kupferdrähte könnten wohl zum Theil eine Legirung von Kupfer und Silber ausgemacht haben, denn ihre Dichtigkeit war 9,64, also etwas gröfser als die gewöhnlich für das Kupfer angegebene.

Endlich habe ich die Punkte, wo das Abreißen geschah, mit dem Mikroskop untersucht; sie zeigten dasselbe Ansehen, der Draht mochte als Leiter gedient haben oder nicht.

VII. *Ueber das Vorkommen der Tantalsäure im  
Columbite von Bodenmais in Baiern;  
von F. Oesten.*

Vor kurzer Zeit hat Hermann im Columbit von Bodenmais einen bedeutenden Gehalt von Tantalsäure nachgewiesen, nicht weniger als 31,17 Proc.; während im Columbite von Nord-Amerika und im Samarskite keine Spur davon entdeckt werden konnte <sup>1)</sup>.

Die Eigenschaften, welche er von der aus dem bairischen Columbite erhaltenen Tantalsäure angiebt, sind in der That solche, welche die Tantalsäure charakterisiren. Sie hatte nämlich das hohe specifische Gewicht derselben, gab vor dem Löthrohre mit Phosphorsalz ein farbloses Glas, das auch in der innern Flamme geschmolzen farblos blieb; nach einem größeren Zusatz von Säure wurde die Perle trübe. — Mit Kohle gemengt und in Chlorgas erbitzt, bildete sich ein gelbes mehliges Chlorid, das Sublimat gab keine Spur von weißem Chloride, sondern bloß gelbe Tropfen und gelbe prismatische Krystalle mit Hinterlassung von grauem Acichlorid. Beim Kochen des gelben Chlorids mit Chlorwasserstoffsäure schied sich viel Tantalsäure ab. Von der Chlorwasserstoffsäure wurde nur eine geringe Menge Tantalsäure gelöst. Diese saure Lösung der Tantalsäure wurde durch Zink nicht gefärbt. Mit Natronhydrat geschmolzen, in kochendem Wasser gelöst, und krystallisirt gab die Säure ein Salz in blättrigen Aggregaten, dessen Lösung mit Galläpfeltinctur und Kaliumeisen-cyanür die bekannten Reactionen der Tantalsäure gab.

Nach diesen Versuchen schien es Hrn. Hermann keinem Zweifel zu unterliegen, daß die aus dem Columbit von Bodenmais abgeschiedene Substanz ächte Tantalsäure sey.

Da ich mich in dem Laboratorium des Hrn. H. Rose

1) Journ. für prakt. Chemie Bd. 68, S. 65.

vielfach mit Analysen von Columbiten beschäftigt habe, jedoch nie eine Verschiedenheit der Säure aus den Columbiten von verschiedenen Fundorten bemerken konnte, so mußten die Versuche des Hrn. Hermann von großem Interesse für mich seyn. Ich habe daher das von ihm angegebene Verfahren der Trennung der Tantalsäure von der Säure aus den Columbiten genau wiederholt, und vergleichende Versuche mit Columbiten von Bodenmais und von Nordamerika angestellt. Die Columbite von beiden Fundorten wurden mit gleichen Mengen von saurem schwefelsaurem Kali durchs Schmelzen zersetzt, die geschmolzenen Massen mit Wasser behandelt, die erhaltenen ausgewaschenen Säuren mit Schwefelammonium digerirt, zuerst mit Wasser ausgewaschen, das Schwefelammonium enthielt, und darauf mit Wasser, dem etwas Chlorwasserstoffsäure zugesetzt worden war. Die ausgewaschenen und getrockneten Säuren wurden mit der sechsfachen Menge von saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen, und die ausgewaschenen Säuren bei 15° C. getrocknet. Von diesen Säuren (A-Sulphat von Hermann) wurden Quantitäten von 4 Grm. mit 8 Grm. trockenem Natronhydrat und 6 Loth kaltem Wasser in einem gut verschlossenen Kolben unter öfterem Umschütteln bei gewöhnlicher Temperatur lange Zeit hingestellt. Schon nach einigen Tagen hatte das Pulver in beiden Flaschen eine fein krystallinische Gestalt angenommen. Endlich wurde von beiden die Flüssigkeit klar abgegossen und der Rückstand mit kochendem Wasser behandelt. Er löste sich in beiden auf gleiche Weise vollkommen zu einer höchst schwach opalisirenden Flüssigkeit auf. Weder aus der Säure von dem Columbit aus Bodenmais noch bei der aus dem amerikanischen Columbite blieb eine Spur ungelöst zurück. Hermann hat auf diesem Wege aus der Säure des Columbites von Bodenmais einen Rückstand von 26 Proc. unlöslicher Tantalsäure erhalten, und nachdem er die Säure des gelösten Salzes durch Chlorwasserstoffsäure und Ammoniak abgeschieden, und wieder durch Schmelzen mit saurem schwefelsaurem Kali in A-Sulphat

umgewandelt hatte, aus diesem abermals 5,17 Proc. Tantalssäure abgeschieden. — Da ich schon bei der ersten Behandlung der Säuren aus den Columbiten mit Natronhydrat keinen im Wasser unlöslichen Rückstand erhalten hatte, so hielt ich es für überflüssig, die aus der Lösung ausgeschiedenen Säuren einer zweiten Behandlung mit Natronhydrat zu unterwerfen.

Was mir bei der Hermann'schen Beschreibung der Eigenschaften der aus dem Columbit von Bodenmais abgeschiedenen Tantalssäure am meisten auffallend war, war das hohe spec. Gewicht, das er von dieser Säure angiebt, nämlich 7,14, welches freilich der wirklichen Tantalssäure aus den finnländischen Tantaliten zukommen kann. Ich habe das specifische Gewicht der mit Natronhydrat behandelten beiden Säuren aus den Columbiten von Bodenmais und von Amerika untersucht. Aus den Lösungen der Natronsalze wurden durchs Kochen mit einem Ueberschuss von Schwefelsäure die Säuren gefällt, ausgewaschen, und mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen. Die geschmolzenen Massen wurden mit heissem Wasser behandelt, die Säuren vollkommen ausgewaschen und nach dem Trocknen in einer Atmosphäre von kohlensaurem Ammoniak geglüht. Die Säure aus dem amerikanischen Columbit zeigte eine Dichtigkeit von 6,101; die hingegen aus dem Columbit von Bodenmais von nur 5,385. Es ist dies das spec. Gewicht der Säuren der Columbite, das nach der Darstellungsart und den beim Glühen angewandten Hitzgraden verschieden ist, jedoch nie das der Tantalssäure erreicht. Aber durch Zufall hatte gerade die Säure aus dem bairischen Columbite, in welcher Tantalssäure nach Hermann enthalten seyn soll, die geringere Dichtigkeit.

Durch diese Versuche wird es wahrscheinlich, daß bei der Bestimmung des Theils der Säure aus dem bairischen Columbite, welche Hermann für Tantalssäure gehalten hat, vielleicht ein Fehler vorgefallen seyn kann. Indem ich darüber nachdachte, auf welche Weise solche Fehler bei der Bestimmung der Dichtigkeit von manchen pulver-

förmigen Substanzen entstehen können, kam ich auf die Vermuthung, daß bei dieser Bestimmung oft die Substanz, die zuerst unter Wasser gewogen wird, nicht von derselben Beschaffenheit sey, wie die, deren Gewicht man nach dem Abdampfen des Wassers und nachherigem Glühen durchs Wägen in der Luft erhält. Bekanntlich ist die beste Methode, die Dichtigkeit pulverförmiger Substanzen zu bestimmen die, daß man eine vorher nicht genau bestimmte Menge derselben unter Wasser in einem konischen Platingefäße wägt, darauf nach Absetzen des Pulvers die größere Menge des Wassers durch Fließpapier fortnimmt, und durch vorsichtiges Abdampfen und endliches Glühen den Rest desselben entfernt, worauf die trockne Substanz gewogen wird. Hat man nun aber die pulverförmige Substanz z. B. als Hydrat unter Wasser, und darauf die geglühte Substanz in ihrem trocknen Zustand in der Luft gewogen, so erhält man ein unrichtiges und ein höheres specifisches Gewicht, als der trocknen Substanz zukommt, da im Allgemeinen die Hydrate der Säuren eine geringere Dichtigkeit haben, als die Säuren im trocknen Zustande.

Ich habe einige Versuche angestellt, um das, was sich eigentlich von selbst versteht, empirisch zu beweisen. Es wurden die Lösungen der Natronsalze der beiden Säuren aus den Columbiten von Baiern und von Amerika, wie sie nach der von Hermann angegebenen Methode dargestellt worden, mit verdünnter Schwefelsäure bis zur sauren Reaction versetzt, und längere Zeit gekocht. Die ausgewaschenen filtrirten Säuren wurden zur vollständigen Reinigung mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen, die geschmolzenen Massen mit heißem Wasser behandelt, und die Säuren vollständig ausgewaschen. Von diesen feuchten wasserhaltigen und schwefelsäurehaltigen Säuren wurden Quantitäten unter Wasser gewogen, darauf nach Entfernung des Wassers geglüht, in der Luft gewogen, und nun auf gewöhnliche Weise die Dichtigkeit berechnet. Das spec. Gewicht der Säure des Columbits von Bodenmais, nach dieser Weise bestimmt, war 7,814; das der

Säure des amerikanischen Columbits 9,950. — Es ist klar, daß die berechnete Dichtigkeit höher ausfallen muß, wenn die Säure vor dem Glühen nicht bloß Wasser, sondern auch Schwefelsäure enthält.

VIII. *Aktinograph, Instrument, welches die Zeitpunkte und die Dauer des Erscheinens und Verschwindens der Sonne anzeigt;*

von Hrn. Pouillet.

(Compt. rend. T. XXXXII, p. 913)

Seit einiger Zeit beschäftige ich mich mit einer Arbeit, welche ihrem Ende entgegengeht und sehr bald von mir der Akademie vorgelegt werden wird; sie besteht aus einer Reihe von Untersuchungen über die Sonnenwärme oder vielmehr die Sonnenstrahlungen überhaupt und bildet die Fortsetzung meiner Abhandlung von 1838. Die meteorologischen Discussionen, welchen die Akademie vor einigen Monaten eine so lange und gütige Beachtung geschenkt hat, haben mich auf den Gegenstand zurückgeführt. Da die Jahreszeit fortwährend sehr ungünstig für derlei Versuche ist, so hat es mir nützlich geschienen, für jetzt aus diesen neuen Untersuchungen nur die Beschreibung eines Instruments mitzutheilen, welches sich durch den Gebrauch vervollkommen, und, wie ich glaube, der Meteorologie nützlich seyn wird. Die zu lösende Aufgabe ist eine von denen, die in der angekündigten Arbeit discutirt sind; hier begnüge ich mich, sie anzudeuten und das Instrument zu beschreiben.

Meine früheren Versuche lehren kennen: die Wärmemenge, welche die Sonne dem Erdkörper in einer gegebenen Zeit zuführt, und die Wärmemenge, welche zum Erdboden gelangt, um ihn direct zu erwärmen und darin alle organischen Erscheinungen zu entwickeln.

Von diesen beiden Elementen ist das erstere beim gegenwärtigen Zustand des Sonnenkörpers constant; das zweite ist veränderlich, weil die von den Wolken absorbirte Wärme sich zum Theil in die Himmelsräume zerstreut, ohne direct zu den irdischen Erscheinungen beizutragen; und, es ist wenig wahrscheinlich, daß jedes Jahr in Summa eine gleiche Wärmemenge durch die Wolken aufgefangen werde. Wenn die Gesamtheit sich verändert, so müssen um so mehr bedeutende Schwankungen in einer gegebenen Gegend vorkommen. Es ist z. B. nicht zu bezweifeln, daß im größten Theile von Europa die Cultur von einem Jahr zum andern in sehr ungleicher Wärme durch die Sonnenstrahlung begünstigt wird.

Nach den so eben erwähnten allgemeinen Aufgaben bietet sich also eine speciellere und nicht weniger interessante dar, nämlich die: wie viel heitere Tage es in jedem Klima und in jedem Jahre gebe, und wie sie vertheilt seyen.

Diese Aufgabe ist durch die bisherigen meteorologischen Beobachtungen keineswegs gelöst, selbst nicht durch die, welche den Zustand des Himmels am besten angeben; denn die Beobachter können den scheinbaren Zustand des Himmels nur zu den festgesetzten Stunden in ihre Tafeln eintragen, als: heiterer, bewölkter oder bedeckter Himmel, Wolken von verschiedener Form, Nebel, Regen, Schnee u. s. w. Ohne Zweifel ist es gut, die Zahl der heiteren und der regnigten Tage zu kennen, aber das ist eine unzulängliche Approximation. Die Wärmemenge oder, besser gesagt, die Menge der directen Sonnenstrahlung, welche bei bewölktem Himmel in Intermittenzen oder Sonnenblicken zu uns kommt, ist vielleicht in Summa nicht weniger beträchtlich oder nicht weniger wirksam als die, welche bei heiterem Himmel zu uns gelangt; es ist unumgänglich, sie in Rechnung zu ziehen.

Man muß also ein Instrument haben, welches uns an jedem Tage, besonders in den Zeiten der activen Vegetation, lehrt, zu welchen Stunden die Sonne sich zeigt, wie lange sie scheint, zu welchen Stunden und wie lange sie



hinter Wolken versteckt bleibt, ohne daß ihre Strahlen diese zu durchdringen vermögen.

So gestellt ist das Problem, wie Jedermann begreift, nicht unlöslich, vielmehr mittelst Photographie lösbar.

Als mechanisches Hilfsmittel könnte man ein Aequatorial oder einen Heliostat gebrauchen; allein, statt eine für jetzt überflüssige Genauigkeit aufzusuchen, gebe ich der einfachsten und am leichtesten anzuschaffenden Einrichtung den Vorzug. Das Instrument, welches ich nach diesen Gedanken habe anfertigen lassen, wirkt von selbst, ohne irgend eine mechanische Kraft und selbst ohne irgend einen optischen Apparat. Es ist ein bloßer quadratischer Kasten, 20 Centm. in Seite auf 10 Centm. Höhe, von dünnem Holz, inwendig schwarz und auswendig weiß angestrichen. Zwei lothrechte Stäbe (*guides*) im Boden dienen dazu, ein inneres bewegliches Stück in Richtung der Axe so zu heben oder zu senken, daß es dem Boden und dem Deckel parallel bleibt; dieses Stück hat 2 Centm. Dicke und wird an jedem Tage, nach der Declination der Sonne, in gehöriger Höhe befestigt.

Dieser Kasten wird nach Art einer Sonnenuhr aufgestellt und zwar so, daß zwei seiner Seiten im Meridian, und die beiden andern in Richtung von Ost nach West stehen; nur neigt man ihn so, daß, je nach der geographischen Breite des Orts, seine Axe der Erdaxe parallel sey. Daraus folgt, daß das erwähnte bewegliche Stück sich dem Aequator parallel bewegt. In der Mitte der drei Seitenflächen, die nach Süden, Osten und Westen stehen, befindet sich eine quadratische Oeffnung von 3 Centm. Seite, verschlossen durch eine Metallplatte, die im Centro ein Loch von 4 Millim. Durchmesser hat.

Man begreift hiernach, daß zur Zeit der Nachtgleichen, die Sonnenstrahlen zwischen 6 und 9 Uhr Morgens durch das Loch der östlichen Platte eintreten, und einen runden Fleck auf der Seite des beweglichen Stücks bilden müssen, wenn letzteres für diesen Tag inmitten der Höhe des Kastens und gegenüber den Mittelpunkten der genannten Lö-

cher richtig aufgestellt ist. Um dieses Bild aufzufangen, ist die entsprechende Seite des beweglichen Stücks ein Theil eines concaven Cylinders von 6 Centm. Radius, dessen Axe im Centro des Lochs der Metallplatte und parallel der Erdaxe liegt. Während dieser drei Stunden durchläuft demnach das Centrum des Bildes auf dem mittleren Durchschnitt der Cylinderfläche einen Winkel von  $45^\circ$ , dabei eine Länge von  $47^m,1$  oder etwas mehr als 1 Millim. auf 4 Minuten besitzend. Für die Sommertage muß der Theil des Cylinders etwas größer seyn, und es ist gut ihm etwas mehr als  $90^\circ$  Entwicklung zu geben. Gegenüber den Löchern im Süden und Westen bildet das bewegliche Stück gleichfalls solche Cylinderflächen von gleicher Größe und gleichem Radius.

Sonach beginnt die Südseite mit dem Aufzeichnen ein wenig vor 9 Uhr und folglich ehe die Ostseite damit aufgehört hat, und ebenso beginnt die Westseite etwas vor 3 Uhr, d. h. ehe die Südseite aufgehört hat, ihr Bild auf der entsprechenden Cylinderfläche abzuwarten.

Ebenso fängt das Instrument das Sonnenbild in allen Jahreszeiten und zu allen Tagesstunden auf.

So wie die natürliche Declination zunimmt, nähert man das bewegliche Stück dem Boden, und umgekehrt hebt man es gegen den Deckel während der südlichen Declination, damit die Bilder stets die Cylinderflächen in der Mitte ihrer Höhen treffen.

Ein Streifen photographischen Papiers von hinreichender Länge und von 2 Centm. Höhe wird an den drei zur Auffangung der Sonnenbilder bestimmten Cylinderflächen befestigt, und man bringt ihn dahin vor Sonnenaufgang und nimmt ihn fort nach Sonnenuntergang; dann hat man nur noch durch die gewöhnlichen Mittel die Licht-Eindrücke zu fixiren.

Die mit diesem Instrument angestellten Versuche, deren Resultate ich der Akademie vorlege, beweisen, daß es selbst bei seinen beschränkten Dimensionen, keine Schwierigkeit hat, eine sehr getreue Aufzeichnung aller Momente

des Erscheinens und Verschwindens der Sonne zu erhalten. Man kann es daher *Aktinograph* nennen.

Die Praxis wird lehren, ob es vortheilhaft sey, den Durchmesser des einfallenden Lichtbündels zu vergrößern oder zu verkleinern, ob man die Löcher der Metallplatten mit klaren oder verschieden gefärbten Gläsern bedecken müsse.

Was die photographischen Präparate betrifft, so bestehen die von mir angewandten aus alten Bädern, mehr oder weniger verändert durch die Zeit und durch den Gebrauch, den ich von ihnen im letzten Sommer machte. Diefs erklärt, was diesen Lichtbildern in Bezug auf Schärfe und Abstufung der Schatten mangelt; allein mit diesen Unvollkommenheiten lehren die Bilder gewissermassen vollständiger, wie leicht es ist zu verhindern, dafs die diffuse Strahlung aus den der Sonne benachbarten Regionen bei einer Dauer von 12 bis 15 Stunden jemals verwechselt werden könne mit der schwachen directen Strahlung, die kaum eine Sekunde wirkt.

Sollte es nützlich seyn, das jährliche Resultat der Beobachtungen photographisch zu vervielfältigen, statt es durch Kupferstich oder Steindruck zu thun, so brauchte man nur die Bilder mit einem zweckmäßigen negativen Papier aufzufangen und dann positive Bilder davon abzuziehen. Zwölf Blätter von 30 Quadratcentimeter würden das vollständige Gemälde der zwölf Monate des Jahres darstellen. Aus dem Anblick solcher Tafeln wäre es leicht, die erwähnten Mittelwerthe zusammen zu setzen, so wohl in Betreff der gesammten Anzahl der Stunden des Sonnenscheins, als auch der Zahl derer, die dieser oder jener Jahreszeit oder irgend einer besonderen Tageszeit angehören. Man sieht z. B. aus den von mir vorgelegten Bildern, dafs es in dieser letzten Woche (Mai 1856) täglich an hundert mehr oder weniger lange Sonnenblicke gegeben, und dafs an den schlechtesten Tagen die tägliche Sonnenstrahlung in Summa mehr als zwei Stunden betragen hat.

IX. *Kann der galvanische Strom das Wasser ohne dessen Zersetzung durchlaufen;*  
*von Hrn. A. De la Rive.*

(*Bibl. univ. Mai 1856 P. XXXII, p. 38.*)

Die Frage, welche den Titel dieses Aufsatzes bildet, ist seit einiger Zeit der Gegenstand lebhafter Erörterungen unter den Physikern gewesen. Einerseits sind Hr. Faraday und Hr. Foucault geneigt, sie bejahend zu beantworten, während andererseits die deutschen Physiker und namentlich Hr. Buff zur entgegengesetzten Beantwortung neigen. Was mich betrifft, so möchte ich mich dieser letzten Ansicht anschließen und dafür habe ich die Gründe in meinem *Traité d'électricité* angegeben<sup>1)</sup>. Dagegen hat Hr. Despretz, zu Gunsten des Hrn. Faraday und Hrn. Foucault, eine Reihe sehr sorgfältiger Versuche beigebracht, mit denen wir unsere Leser bekannt machen wollen, und zwar durch wörtliche Wiederholung der Mittheilung, die der gelehrte französische Physiker darüber der Akademie der Wissenschaften in der Sitzung vom 21. April 1856 gemacht hat<sup>2)</sup>.

»In einer Abhandlung, in welcher ich hauptsächlich untersuchte, ob die Salpetersäure in der Grove'schen oder der Bunsen'schen Kette einen Einfluss auf das Verhältniß zwischen der inneren und der äußeren Kraft ausübe, habe ich angenommen, daß, wenn eine unwirksame Elektrizitätsmenge durch das Voltameter geht, diese Menge sehr klein sey (*Compt. rend. T. XXIII, 1851*). In einem Zusatz zu dieser Abhandlung habe ich nachgewiesen, daß wenn ein elektrischer Strom durch mehre Voltameter geht, von denen das eine destillirtes Wasser enthält, und die anderen mit einem in irgend einem Grade angesäuerten Wasser gefüllt sind, in jedem dieser Voltameter ein gleiches

1) *Traité d'électricité théorique et appliquée, T. II, p. 359.*

2) *Compt. rend. de l'acad. d. Scienc. T. 42, p. 707.*

Gasvolum entwickelt wird, was beweist, daß das mehr oder weniger große Leitvermögen des Wassers die etwa unwirksam durch die Voltameter gehende Elektrizitätsmenge gar nicht abändert. Einige Versuche ließen mich immer glauben, daß der Antheil von Elektrizität, welchen der auf seinem Wege befindliche Flüssigkeitsfaden entgeht, sehr klein ist (*Compt. rend. T. XXVIII; 1854*).“

„Die Resultate, welche ich heute der Akademie zu überreichen die Ehre habe, scheinen von der Art, diese Betrachtungsweise zu verstärken.“

„Schon mehrmals habe ich in früheren Jahren einige Versuche gemacht mit dem zusammengesetzten Mikroskop und mit dem durch elektrisches Licht beleuchteten Sonnenmikroskop. Neuerlich habe ich diese Versuche wiederholt und die Resultate scheinen mir werth, der Akademie vorgelegt zu werden.“

„Ich richtete die Versuche folgendermaßen ein. Unter das Objectiv eines zusammengesetzten 70 Mal vergrößernden Mikroskops von Hrn. Nachez stellte ich ein kreisrundes Näpfchen voll destillirten Wassers und befestigte in diesem Näpfchen zwei etwa 0,2 Millim. dicke Platindrähte, die in Glasröhren eingeschmolzen waren. Die Länge ihres eingetauchten Theils betrug ungefähr 1 Centm. und der gegenseitige Abstand ihrer Enden ungefähr 3 Millimeter. Mittelst dieser Drähte leitete ich den Strom einer sehr schwachen Säule durch das Näpfchen und betrachtete das Ende der Drähte mit dem Mikroskop.“

„Die Drähte waren bis zur Rothgluth erhitzt, dann in heiße Salpetersäure gebracht und endlich in destillirtem Wasser abgespült worden.“

„Jedes Element der Säule bestand aus einem porösen Gefäß, gefüllt mit benäßigtem Sand, einer cylinderförmig um das Gefäß herumgebogenen Zinkplatte und endlich einem Glasbecher, dessen Mitte das poröse Gefäß einnahm. Ich goß Wasser in den Becher und, wenn das Niveau desselben in dem Becher eben so hoch war wie in dem porösen Gefäß, legte ich auf den Sand ein Stück Kupfer-

vitriol, so groß wie eine Nuss. Der Strom ging durch das Näpfchen und durch ein von Hrn. Ruhmkorff verfertigtes Galvanometer von 1500 Windungen. Ein einziges Element gab nur eine schwache Ablenkung, zwei Elemente gaben eine bleibende Ablenkung von  $15^{\circ}$  bis  $20^{\circ}$ . Während 18 Minuten erblickte man nichts an den Drähten.«

»Man fügte ein drittes Element hinzu, aus dem man die Hälfte des Wassers fortgenommen hatte. Die bleibende Ablenkung des Galvanometers war  $30^{\circ}$ ; die Zersetzung begann.«

»Man vervollständigte das dritte Element; die bleibende Ablenkung stieg auf  $50^{\circ}$ ; die Zersetzung zeigte sich an beiden Drähten.«

»Man unterbrach den Versuch und reinigte die Drähte mit einem dünnen Platindraht. Man fing den Versuch mit 2 und 3 Elementen wiederum an und erhielt nahe dieselben Resultate.«

»Bei den Versuchen, welche ich vor einigen Tagen wiederholte, wandte ich ein etwa 300 Mal vergrößerndes Sonnenmikroskop an. Ich beleuchtete dasselbe durch das Licht von 100 Bunsen'schen Elementen mittels des Dubosq'schen Apparats. Ein Kasten von 5 Centm. Tiefe, gefüllt mit einer Alaunlösung, löschte einen bedeutenden Theil der von dem Volta'schen Bogen ausgesandten strahlenden Wärme aus.«

»Zwei Platindrähte, eingeschmolzen wie die schon erwähnten, waren befestigt in einem Troge mit parallelen Platten. Der Trog enthielt destillirtes Wasser bis über die Drähte. Der Abstand der Drähte betrug etwa 2 Millimeter.«

»Zwei der oben beschriebenen Elemente gaben am Galvanometer eine bleibende Ablenkung von  $15^{\circ}$ . Es fand keine Zersetzung statt.«

»Die Vereinigung von 3 Elementen bewirkte eine Ablenkung von  $45^{\circ}$  und eine sichtbare Zersetzung an beiden Drähten.«

»Man nahm ein Element fort, so daß deren zwei blie-

ben. Das Galvanometer zeigte  $10^{\circ}$ . Man löschte das elektrische Licht aus und liefs den Versuch 15 Minuten gehen; darauf das Mikroskop von Neuem beleuchtet, sah man nichts an den Drähten.«

»Bei den Versuchen mit 2 und mit 3 Elementen hatten sich die Drähte mit all den Gasen bekleiden müssen, mit denen sie sich bekleiden konnten; wenn während des letzten Versuchs das Wasser zersetzt worden wäre, so würde man einige Blasen wahrgenommen haben.«

»Es ist unumgänglich, den Versuch gehen zu lassen, ohne das Licht auf das Mikroskop und das Kästchen zu richten. Denn da die strahlende Wärme nicht ganz von der Alaunlösung absorbirt wird, so gelangt von ihr noch so viel zum Brennpunkt des Mikroskops, dafs sie eine Entwicklung der im Wasser enthaltenen Luft veranlafst; diese Luft setzt sich an die Drähte und das kann die Quelle grober Fehler werden.«

»Man wiederholte diese Versuche mehrmals für verschiedene Grade des Galvanometers und erhielt dieselben Resultate.«

»Als die Säule aus 4 Elementen bestand, war die Gasentwicklung am negativen Draht, d. h. an dem mit dem Zink-Ende verknüpften, reichlich. Am positiven Draht war die Entwicklung bei weitem nicht proportional, wie wir das bei schwachen Intensitäten immer bemerkt haben.«

»Golddrähte, Platindrähte von 0,1 Millim. Durchmesser und 1 Millimeter Länge des eingetauchten Theils lieferten gleiche Resultate.«

»Das Galvanometer mit 1500 Windungen hat eine zu derlei Versuchen hinlängliche Empfindlichkeit. Folgende Zahlen sind geeignet die Empfindlichkeit desselben zu charakterisiren. Ein Platindraht von 1 Millim. Durchmesser und ein Kupferdraht von gleicher Dicke gaben einen Ausschlag von  $40^{\circ}$ , wenn sie, 1 Centim. von einander, 3,5 Centimeter tief eingetaucht wurden; bald kam die Nadel auf 2 oder  $3^{\circ}$  zurück.«

»Unter denselben Umatänden gaben ein Zinkdraht und



ein Kupferdraht von 1 Millm. Durchmesser eine bleibende Ablenkung von  $60^{\circ}$ , nach einem Ausschlage von mehr als  $90^{\circ}$ .«

»Aus den angeführten Versuchen geht hervor, *dafs ein schwacher Volta'scher Strom, dessen Intensität durch  $20^{\circ}$  und weniger des bezeichneten Galvanometers ausgedrückt wird, das reine Wasser durchläuft, ohne dasselbe zu zersetzen.* Diese Quantität ist so klein, dafs sie mit den empfindlichsten Bussolen nicht wahrgenommen wird. Sie würde weniger stabile Flüssigkeiten als das Wasser zersetzen.«

»Ich hatte zur Absicht, einige Versuche so einzurichten, dafs man kleine Glocken in das Näpfchen tauchte und darüber ein Vacuum herstellte. Ich glaubte aber, dieses Verfahren würde weniger Gewifsheit darbieten als die von mir angewandten. Es würde sich zu wenig Gas entwickeln, um eine Analyse zu machen; es würde also schwer halten die aus der Luft des Wassers herstammenden Gase von den aus der Zersetzung desselben entsprungenen zu unterscheiden.«

»Bei diesen Versuchen hat man Gelegenheit mehrer Bemerkungen zu machen, z. B. die, dafs, ehe die Zersetzung des Wassers wirklich eintritt, der *positive* Platindraht sich mit mehren Gasblasen bekleidet. Es ist wahrscheinlich, dafs der Strom, welcher nicht stark genug ist, die den Sauerstoff und den Wasserstoff zu Wasser vereinigende Affinität aufzuheben, doch im Stande ist, die schwache Verwandtschaft des Sauerstoffs zum Wasser zu überwinden. Dieser Sauerstoff begiebt sich zum positiven Draht. Man hat diese Erscheinung bei den vorstehenden Versuchen oft beobachtet, besonders wenn das Näpfchen von dem intensiven Licht des Sonnenmikroskops getroffen wurde. Es geschieht sogar, dafs sich der negative Draht mit einigen Blasen bekleidet, aber vor allem ist es der positive.«

»Dagegen bekleidet sich der negative Draht, wenn die Zersetzung beginnt und der Strom nur schwach ist, z. B. nur der von 4 kleinen Elementen, mit Wasserstoffblasen



in seiner ganzen Erstreckung, ehe man einige Blasen am positiven Draht erblickt.«

»Die Physiker sind getheilter Meinung über die Frage, welche ich in dieser kurzen Notiz behandle; Einige waren und sind der entgegengesetzten Ansicht. Ich habe mithin bei diesem Gegenstand keine Initiative, wenn es nicht etwa in der Experimentirweise ist. Ich wollte nur zeigen, ob ich die Frage entscheiden könnte durch einige, von den vor mir angestellten, verschiedene Versuche. In dieser Absicht gebrauchte ich das zusammengesetzte Mikroskop und das Sonnenmikroskop. Ich habe die Zersetzung des Wassers unter den angezeigten Umständen nicht constatirt; ich sage blofs, dafs ich dieselbe nicht beobachtet habe; ich würde das Gegentheil mit derselben Gleichgültigkeit sagen, wenn ich es beobachtet hätte.«

»Ich weifs wohl, dafs die Physiker, welche die Möglichkeit des Durchgangs eines schwachen Stromes durch das Wasser ohne Zersetzung desselben gänzlich verwerfen, die Resultate meiner Versuche durch Condensation der Gase an den Elektroden erklären werden. Denjenigen aber, welche diese Notiz mit Achtsamkeit lesen werden, wird diese Condensation wenig wahrscheinlich vorkommen.«

»Kurz, nach meinen Versuchen bin ich zu glauben veranlaßt, dafs sehr schwache Ströme das Wasser durchlaufen, ohne es zu zersetzen. Ich wage zu hoffen, dafs die Physiker, welche meine Versuche wiederholen, zu gleicher Folgerung werden geführt werden.«

Die Richtigkeit der von Hrn. Despretz beobachteten Thatsachen vollkommen annehmend, kann ich doch nicht aus ihnen dieselben Folgerungen ziehen wie er. Anders gesagt: daraus, dafs keine Gase sichtbar sind, wenn ein sehr schwacher Strom durch das Wasser geht, kann ich noch nicht entscheidend schliessen, dafs keine elektrolytische Zersetzung des Wassers stattgefunden habe.

Bemerken wir zuvörderst, dafs wenn der durchgehende Strom sehr schwach ist, die Gase sich an der Oberfläche der Elektroden in so geringer Menge und in so feinen

Bläschen entwickeln, daß sie vom Wasser gelöst werden, bevor sie Zeit haben sich so zu vergrößern, daß sie entweichen. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur zu verfolgen, in welcher Weise die Gasentwicklung geschieht, wenn der Strom, welcher sie erzeugt, hinreichend ist sie zu veranlassen, doch aber noch eine sehr geringe Intensität besitzt. Noch mehr im Jahre 1843 habe ich beobachtet, und, wie ich glaube hat Hr. Matteucci schon vor mir dieselbe Beobachtung gemacht, daß derselbe Strom, der zwischen feinen Spitzen als Elektroden eine Gasentwicklung veranlaßt, sie nicht mehr giebt, wenn man als Elektroden Platten von einigen Quadrat-Centimetern nimmt, was davon herrührt, daß die entwickelten Gase, weil sie auf großen Flächen verbreitet sind, sich leichter lösen. Es ist wahrscheinlich, daß wenn Hr. Despretz feine Wollaston'sche Platinspitzen statt der zwar feinen aber doch 3 Millim. langen Drähte angewandt hätte, er einige Gasblasen bei demselben Strom würde wahrgenommen haben, der ihm an seinen Drähten keine gab. Das Erscheinen oder Nichterscheinen des Gases ist also nur die Folge von Verhältnissen, die zwischen der Intensität des Stroms, der Oberflächengröße der Elektroden, und der mehr oder weniger großen Lösekraft der elektrolytischen Flüssigkeit vorhanden sind.

Man kann daher bei den Versuchen des Hrn. Despretz das Ausbleiben einer Gasentwicklung nicht als Beweis ansehen, daß das Wasser nicht zersetzt worden sey. Das einzige Kriterium, welches diese Frage entscheiden kann, ist: zu wissen, ob die Elektroden, welche den Strom eine Zeit lang durch die elektrolytische Flüssigkeit leiteten, polarisirt sind oder nicht. Nun aber habe ich noch nicht einen Fall gefunden, in welchem nicht selbst der schwächste Strom, nach dem Durchgang durch eine solche Flüssigkeit, den Elektroden, welche diese Flüssigkeit in die Kette brachten, eine sekundäre Polarität mitgetheilt hätte, die fähig war, die Galvanometernadel fast eben so stark abzulenken als in umgekehrter Richtung der durchgeleitete Strom. Diese

Polarität ist ein Beweis, daß eine Gasentwicklung an der Oberfläche der beiden Elektroden stattfand und folglich, daß das Wasser zersetzt wurde.

In vielen Fällen, wo die Gase nicht an der Oberfläche der Elektroden sichtbar sind, kann man dennoch ihre Gegenwart nachweisen, wenn man über der elektrolytischen Flüssigkeit ein Vacuum herstellt. Man sieht dann sogleich das in der Kette gebrachte Galvanometer eine Zunahme der Stromstärke anzeigen, was davon herrührt, daß man mit der Verminderung des atmosphärischen Drucks, der das Anhaften der Gase an der Oberfläche der Elektroden unterstützt, diesen Gasen theilweis zu entweichen gestattet und somit das Hinderniß schwächt, welches sich dem Durchgang des Stromes widersetzt<sup>1)</sup>.

Ich kann diese Bemerkungen über die jüngsten Versuche des Hrn. Despretz nicht schließen, ohne anzuerkennen, daß wenn auch, wie ich überzeugt bin, keine Bewegung der Electricität im Wasser stattfinden kann, ohne daß nicht dieselbe von einer elektrolytischen Zersetzung begleitet ist, es doch Fälle giebt, wo eine andere Kraft als die zersetzende auf die Flüssigkeit zu wirken scheint; ich meine nämlich die Triebkraft (*force impulsive*) vermöge welcher das Wasser unter dem Einfluß des von ihm fortgepflanzten Stromes vom positiven zum negativen Pol getrieben wird. Ob dieses von Porret entdeckte und mit so vieler Sorgfalt von Hrn. Wiedemann studirte Phänomen, wie Hr. Graham voraussetzt, eine besondere elektrolytische Zersetzungsweise oder von der Elektrolyse ganz unabhängig sey? — Was mir für diese letztere Meinung zu sprechen scheint, ist: daß dieser Antrieb desto stärker ist, je weniger leitend der flüssige Körper und folglich je weniger stark die elektrolytische Zersetzung ist. Rührt er davon her, daß die mit den Elektroden im Contact stehenden Wassertheilchen sich wie isolirende Körper mit

1) Man sehe für diese und analoge Resultate die von mir im Jahre 1844 veröffentlichten Untersuchungen (*Comp. rend. Apr. 1843 und Archiv. de l'Electr., T. III, p. 160.*)

derselben Elektricität laden wie die dieser Elektroden, und werden sie deshalb abgestoßen; allein weshalb werden denn die, welche mit der positiven Elektrode in Contact stehen, stärker abgestoßen als die die negative berühren? Wie dem auch sey, das erwähnte Phänomen verdient noch näher studirt zu werden, damit man die Natur desselben besser beurtheilen und seine Beziehungen zu anderen Effecten des elektrischen Stroms entdecken könne; nur begnüge ich mich zu bemerken, daß man es bisher niemals hervorgebracht hat, ohne daß es nicht mit einer elektrolytischen Zersetzung begleitet gewesen wäre.

---

X. *Untersuchungen über die Frage, ob der Strom der Säule das Wasser ohne dessen Zersetzung durchlaufen könne;*  
*von den HH. Van Breda und Logeman.*

(Aus einem Briefe an Hrn. De la Rive. *Eibl. unic.* 1856 Sept.  
*T. XXXIII, p. 14.*)

---

— Wir benutzen diese Gelegenheit<sup>1)</sup>, um Sie wissen zu lassen, daß wir die Idee verwirklicht haben, welche Sie in einer Sitzung der Akademie der Wissenschaften zu Paris, nach Lesung der Notiz des Hrn. Despretz, über die an dünnen Platin-Elektroden im Wasser bei einem schwachen Strom unter dem Mikroskop beobachteten Erscheinungen ausgesprochen haben. Zu dem Ende haben wir den von diesen Gelehrten angewandten Apparat so scrupulös wie möglich nachgeahmt. Der Durchmesser der Platindrähte, die Länge ihrer nicht vom Glasrobre bekleideten Enden und die Entfernung, in welcher sie im destillirten Wasser von einander gehalten wurden, waren genau so, wie Hr. Despretz angab. Die angewandten Elemente

1) Nämlich der Mittheilung eines anderen Aufsatzes, der im ersten Heft des folgenden Jahrgangs dieser Annalen erscheinen wird. (P.)

bestanden aus: 1) einem äußeren Zinkcylinder von 3 Centimeter Höhe auf 4 Centm. Durchmesser, 2) einem kleinen unglasurten Fayence-Topf von gleicher Höhe und 3 Centimeter Durchmesser, und 3) einem Kupfercylinder von 2 Centm. Durchmesser. Das Töpfchen wurde gefüllt mit durch destillirtes Wasser angefeuchtetem Sand, mit dem man auch den Raum außerhalb des Topfes, wo sich der Zinkcylinder befand, ausfüllte. Ein sehr kleines Stück Kupfervitriol wurde auf den Sand gelegt. Das angewandte Galvanometer hatte 1800 Drahtwindungen. Wir verbanden den Zersetzungstrog, der so unter ein Mikroskop gestellt war, daß die Elektroden etwa in 100maliger Vergrößerung erschienen, erstens mit einem Elemente oder mit zwei oder drei hinter einander gestellten Elementen, und darauf, bei Ausschließung des Strom-Erregers, mit dem Galvanometer.

Dabei beobachteten wir folgendes: Mit einem Elemente nichts sichtbar an den Elektroden, aber dennoch, nach einem Durchgang des Stroms von etwa einer Minute Dauer, eine deutliche Polarisation, denn die Nadel des, nach Unterbrechung des Hauptstroms, mit dem Trog verbundenen Galvanometers, wich  $3^{\circ}$  bis  $4^{\circ}$  ab. Mit zwei Elementen eine stärkere Ablenkung von  $9^{\circ}$  bis  $10^{\circ}$ , ohne sichtbare Zersetzung. Mit drei Elementen endlich auch noch nichts sichtbar unter dem Mikroskop, aber eine Ablenkung von mehr als  $15^{\circ}$  durch Polarisation. Wir machen Sie besonders auf die Thatsache aufmerksam, daß drei unserer Elemente noch keine unter dem Mikroskop sichtbare Zersetzung gaben, Beweis, daß unsere Elemente noch viel schwächer geladen waren, als die von Hrn. Despretz angewandten, denn er bekam mit drei Elementen eine sehr sichtbare Zersetzung <sup>1)</sup>.

1) Ich erlaube mir hiebei an meine Versuche über die hydro-elektrischen Ströme höherer Ordnungen zu erinnern (Ann. 1844. Bd. 60, S. 408), da sie gleichfalls zeigen, daß selbst sehr schwache Ströme nicht ohne Polarisation der Elektroden, also auch nicht ohne Zersetzung des Wassers, durch dasselbe zu gehen vermögen. P.

# *XI. Pausenerscheinung am Inductionsapparate.*

Die auffallenden Lichterscheinungen, am Conductor der Elektrisirmaschine, welche ich in diesen Annalen (Bd. 99, S. 1) zu erklären versucht habe, lassen sich voraussichtlich auch an den Elektroden der jetzt häufig benutzten Inductionsapparate hervorbringen. Die bei einer Entfernung ausbleibenden Funken bei einer grösseren Entfernung, durch die Gestalt der Elektroden selbst, wiedererscheinen zu lassen habe ich indeß am Inductionsapparate, in einer freilich nur geringen Zahl von Versuchen, nicht vermocht. Sehr leicht hingegen erhielt ich die ausgebliebenen Funken dadurch wieder, daß ein Leiter den Elektroden sehr nahe gebracht wurde. Zwei polirte Metallkugeln von 3 oder 4 Linien Durchmesser bildeten die Elektroden meines Inductionsapparats (wozu die käuflichen Tuchnadeln mit vergoldeten Knöpfen sich gut eignen). Als der Apparat durch ein schon oft benutztes Grove'sches Element erregt war, ging ein continuirlicher Funkenstrom über zwischen den nächsten Punkten der horizontal einander gegenüberliegenden Kugeln, wenn die Entfernung dieser Punkte nicht mehr als  $1\frac{1}{4}$  Linie betrug. Bei etwas grösserer Entfernung gingen nur einzelne Funken über und, wenn sie 2 Linien betrug, gar keine. Wurde nun ein dünner Holzspan, ein Streifen Kartenpapier, ein Stück Zündschwamm oder ein anderer Halbleiter von unten mit horizontaler Fläche beiden Kugeln genähert, so erschien der Funkenstrom sogleich wieder. Die Wirkung war am vollkommensten, wenn der fremde Körper in einer beide Kugel berührenden Ebene lag, also von dem Funkenstrom um den Kugelradius entfernt war. Zum Beweise, daß hier keine directe Vermittelung des Funkenstromes durch den eingeschobenen Körper statt fand, wurde der Span oder der Papierstreifen vertical gehalten und mit einer Kante desselben eine der beiden Kugeln berührt. So lange die Kante einen Punkt der einander zugewandten Kugelschalen berührte, dauerte

der Funkenstrom fort. — Diese Pausenerscheinung läßt sich zwar auch an stumpfen und spitzen Elektroden hervorbringen, aber dann muß der fremde Körper diesen so nahe gebracht werden, daß er von dem Funkenstrom berührt wird. Zwischen zwei zugespitzten Kupferdrähten konnten einzelne Funken von höchstens 5,2 Par. Lin. erhalten werden, aber Funken von über 6 Linien Länge, wenn vor der einen Spitze und in Berührung mit ihr ein Streifen dünnen Postpapiers vertical gehalten wurde, so daß die Funken durch das Papier gehen mußten. Diese Wirkung des Papiers erschien vor der negativen Elektrode bedeutend stärker, als vor der positiven (nach dem Oeffnungsstrom bezeichnet); was mich veranlaßte den negativen Draht abzuflachen, so daß die Funken zwischen einer negativen Kreisfläche von  $\frac{1}{2}$  Linie Durchmesser und einer positiven Spitze übergingen. Bei dieser Einrichtung erhielt ich Funken von 6,8 Linien, während sie, wenn die Fläche die positive, die Spitze die negative Elektrode bildete, nur eine Länge von 4,6 Linien erreichten. Ein vor der Elektrode gehaltenes Papier vermehrte die Häufigkeit der übergehenden Funken. Bisher waren beide Enden der Inductionsrolle vollständig isolirt gewesen; die beschriebenen Erscheinungen waren, bei geringeren Entfernungen der Elektroden, nicht minder deutlich, als ein Ende der Rolle vollständig zur Erde abgeleitet wurde.

Diese Versuche finden, wie die an der Elektrisirmaschine, ihre Erklärung in der durch die Nähe eines fremden Körpers veränderten Anordnung der Elektricität auf den Elektroden. Bei Anwendung der spitzen Elektroden wird die elektrische Dichtigkeit an den Seitenflächen verstärkt und die leuchtende Ausströmung an den Spitzen vermindert, was ein Versuch im Dunkeln bemerken läßt. Bei den Kugel-Elektroden wird die Dichtigkeit an den Punkten selbst verstärkt, zwischen welchen die Funken übergehen, wie die gebogene Form der Funken zeigt, wenn man mit der Papierkante einen Punkt einer Kugelfläche in der Nähe der Centrallinie berührt.

P. R.



## XII. Ueber Chlorplatinaluminium; vom Fürsten Salm-Horstmar.

Ich erhielt vor mehreren Jahren dieses Salz zufällig bei einer Untersuchung eines Thonerde enthaltenden Minerals.

Man erhält dasselbe, wenn man salzsaure Thonerde mit geringen Ueberschuss von Thonerde zur Trockenheit abdunstet, dann in wenigen Tropfen Wasser löst und mit Platinchlorid versetzt, jedoch mit Vermeidung eines Ueberschusses von Platinchlorid, und nun über Schwefelsäure krystallisiren läßt. — Man erhält dann gewöhnlich erst eine strahlige Masse von citronengelber Farbe. Haucht man die Masse nun an, so daß sie zum Theil zerfließt, so bilden sich erst sehr kleine Krystalle, woraus man sie wieder über etwas mehr wasserhaltiger Schwefelsäure sehr langsam trocken werden läßt, wo sich dann sehr schöne grofse Krystalle von tief citronengelber Farbe bilden.

Die Krystalle sind sechsseitige Säulen, gewöhnlich mit schief angesetzter Endfläche, aber auch sechsseitige Tafeln und selten kurz geschobene vierseitige Säulen, die beinahe wie Rhomboëder aussehen. Sie zerfließen langsam; wenn man aber die Mutterlauge durch Fließpapier entfernt, so erhalten sie sich eine halbe Stunde ziemlich scharf.

Ich muß noch bemerken, daß ein kleiner Ueberschuss von salzsaurer Thonerde zugegen war, und daß man nicht zu wenig und nicht zu viel Platinchlorid zusetzen darf, wenn die Bildung der Krystalle gelingen soll. — Um grofse Krystalle zu erhalten, haucht man den ersten Rest von büschelförmigen Krystallen wieder an, so daß abermals ein Theil derselben zerfließt, und stellt ihn wieder über schwach anziehende Schwefelsäure und wiederholt dieses so oft bis die Krystalle die gewünschte Gröfse haben.

Die Krystalle behalten ihre Form in der Hitze, werden erst roth, dann schwarz und beim Erkalten wieder roth, bis sie bei erhöhtem Glühen schwarz bleiben.

Coesfeld, 9. November 1856.



**XIII. Ueber ein neues Verfahren, die Dichtigkeit starrer Körper mittelst einer gewöhnlichen Waage zu bestimmen; von Hrn. A. Raimondi.**

(Compt. rend. T. XLIII, p. 437.)

Wenn ein Gefäß mit Wasser auf einer Waageschale im Gleichgewicht ist, und man taucht einen starren Körper, der an einem dünnen Faden hängt, in das Wasser, so sieht man die Schale sinken, und, um wieder Gleichgewicht herzustellen, ist man genöthigt, auf die andere Schale ein Gewicht zu legen, das dem des verdrängten Wassers gleich ist. Diefs ist eine Folge des Archimedes'schen Principes. Gesetzt nämlich, man habe ein Gefäß mit Flüssigkeit und einen starren Körper *A* von gröfserer Dichtigkeit als die Flüssigkeit und versehen mit einem zarten Faden, dessen Volum und Gewicht vernachlässigt werden können, auf die Schale einer Waage gebracht und das Ganze durch in die andere Schale gelegte Gewichte aequilibrirt. Sucht man nun den Körper *A* mittelst des Fadens zu heben, so wird das Gleichgewicht zerstört und um es wieder herzustellen, mufs man von der anderen Schale ein Gewicht abnehmen, welches dem gleich ist, das die auf den Faden ausgeübte Spannung ausdrückt. Wenn man, diese Spannung verstärkend bis zur Hebung des Körpers fortgeht, so dafs er den Boden des Gefäßes nicht mehr berührt, sondern in der Flüssigkeit schweben bleibt, so wird die Schale offenbar erleichtert um ein Gewicht, welches gleich ist dem des Körpers, weniger das des verdrängten Flüssigkeitsvolums, und um wieder Gleichgewicht herzustellen, mufs man von der anderen Schale ein entsprechendes Gewicht abnehmen<sup>1)</sup>).

- 1) Denkt man sich das Gefäß mit Wasser und den starren Körper, an einem Faden hängend, zusammen auf das eine Ende des Waagebalkens wirkend, und zwar so, dafs der Körper erst über dem Wasser und dann in demselben hängt, so wird offenbar das Gewicht des Systems in bei-

Diese Thatsache kann experimentell erwiesen werden, wenn man den Körper an den Haken einer hydrostatischen Waage hängt, statt ihn mit der Hand zu heben.

Was die practische Anwendung betrifft, so stelle ich, nachdem ich den Körper in der Luft gewägt habe, auf die eine Waageschale ein Gefäß mit Flüssigkeit, meistens destillirtem Wasser, und bringe es ins Gleichgewicht. Neben der Schale mit dem Gefäß befestigte ich einen winkelförmigen Stab, der lothrecht über dem Gefäß in einem Haken endigt. Mittelst eines Seidenfadens hänge ich den Körper an den Haken so, daß er in die Flüssigkeit taucht, und bringe nun die Waage wieder ins Gleichgewicht, mittelst Gewichte, die das des verdrängten Flüssigkeitsvolums repräsentiren. Die Dichtigkeit des Körpers ergibt sich dann aus der Formel:

$$\Delta = D \frac{P}{P'} + \delta$$

worin  $\Delta$  die gesuchte Dichtigkeit,  $D$  die der Flüssigkeit,  $\delta$  die der Luft,  $P$  das Gewicht des in der Luft gewogenen Körpers und  $P'$  das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit d. h. das zur Herstellung des Gleichgewichts auf die Waage zu legende Gewicht ist.

Diese Methode ist bequemer als die der Flaschen, indem diese die Bestimmung der Dichtigkeit eines etwas voluminösen Körpers nicht erlaubt, weil die Mündung der Flasche dann zu groß seyn muß und der Verschluss schlecht wird.

---

den Fällen dasselbe seyn. Da nun bekanntermaßen der Körper bei Untertauchung in Wasser ein Gewicht verliert, welches dem des verdrängten Wassers gleich ist, so muß das Gefäß mit Wasser, von welcher Gestalt es auch sey, nothwendig um eben so viel an Gewicht zugenommen haben. — So interessant übrigens diese Methode in theoretischer Hinsicht auch ist, so möchte ich doch bezweifeln, ob sie, bei Bestimmungen im Kleinen, wenn große Genauigkeit verlangt wird, einen Vorzug habe vor der gewöhnlichen hydrostatischen Wägung; wenigstens kann man den Körper nicht im Wasser auskochen. P.

In einer folgenden Nummer der *Compt. rend. T. XLIII*, p. 618 hat Hr. Ch. Emy gegen die Priorität der Idee dieses Verfahrens Einspruch erhoben, indem er nachweist, daß der Artillerie-Oberst-Lieutenant Aubertin, vormaliger Director der Kaiserl. Kanonengießerei zu Straßburg, das Verfahren nicht nur 1833 in einer in die Archive dieser Anstalt niedergelegten Note beschrieben, sondern auch vielfältig angewandt hat, um die Dichtigkeit grober Geschütze zu bestimmen. Eine Badewanne oder ein ähnlicher länglicher Trog, zu zwei Dritteln mit Wasser gefüllt, stand dabei auf einer Brückenwaage im Gleichgewicht, und dann wurde das zuvor in der Luft gewogene Geschütz, an starken Stricken hängend, in das Wasser hinabgelassen und die Gewichtszunahme bestimmt. Aus dieser Zunahme und dem Gewicht des Geschützes in der Luft ergab sich dann die Dichtigkeit der Masse auf eben gezeigte Weise.

#### XIV. *Ueber ein neues Stereoskop.*

(*Compt. rend. T. XLIII*, p. 673.)

Hr. Faye legte der Akademie einen kleinen, zur Erleichterung des stereoskopischen Sehens bestimmten Apparat vor. Derselbe besteht einfach aus einem Blatt Papier, worin zwei Löcher von 5 Millimeter Durchmesser befindlich sind, etwa so weit von einander als die Augen des Beobachters. Um sich dieses Stereoscops zu bedienen, braucht man dasselbe nur vor einer Doppel-Zeichnung zu halten, die man in der anderen Hand hält, und nach und nach die Augen zu nähern, ohne aufzuhören, die Zeichnung durch die beiden Löcher zu betrachten. Bald verschwimmen die beiden Löcher zu einem einzigen, und alsdann erscheint das Reliefbild zwischen den beiden ebenen Bildern in vollkommener Deutlichkeit. Es ist dem Verfasser nicht unbekannt,

dafs man die Relief-Empfindung auch ohne allen Apparat bekommt <sup>1)</sup>; allein er glaubt, dafs der eben beschriebene, den man sich in wenigen Augenblicken machen kann, das stereoskopische Sehen erleichtert und in allen Fällen anwendbar ist, besonders bei in Büchern befindlichen Zeichnungen (Gegenständen der Krystallographie, Naturgeschichte), die man nicht unter das gewöhnliche Stereoskop bringen kann. Wenigstens hat er sich desselben in seinen Vorlesungen bedient, um Kenntnisse zu vulgarisiren, die jetzt für die Anwendung der Wissenschaften unumgänglich sind.

### XV. Meteorsteinfall auf Oesel.

Am 11. Mai 1855 (N. St.) hat sich auf der Insel Oesel, an der livländischen Küste, ein Meteorsteinfall zugetragen, über welchen Hr. Adolph Göbel im *Archiv für die Naturkunde Liv-, Ehst- und Kurlands* (Ser. I, Bd. I. S. 477 ff.) ausführliche Nachricht giebt. Der Donner, den die Inselbewohner mit dem Schiessen französischer und englischer Kriegsschiffe verwechselten, war dabei so stark, dafs er auf einer Fläche von beinahe 8 Quadratmeilen gehört wurde. Es fiel eine ganze Anzahl gröfserer und kleinerer Steine herunter, die, nach Hrn. G.'s Schätzung, zusammen

1) Es kommt dabei wohl viel auf Uebung und auf Beschaffenheit der Augen an; ich wenigstens sehe bei einfachen geometrischen Figuren z. B. abgestumpften Kegeln oder Pyramiden, weifs auf schwarzen Grund in gehöriger Weise gezeichnet, das körperliche Bild mit blofsen Augen so leicht und so deutlich ausgeprägt, wie man es nur mit Hülfe eines Stereoskops erhalten mag. Bemerkenswerth ist auch, dafs mir dabei die beiden Seitenbilder, welche das stereoskopische Bild zwischen sich fassen, dann ebenfalls, obwohl in geringerem Grade, körperlich erscheinen, und zwar entweder erhoben oder vertieft, je nachdem das mittlere Bild (nach Beschaffenheit der angeschauten Zeichnung) ein vertieftes oder erhobenes ist.

eine Masse von etwa 57 Pfund gebildet haben würde. Was gesammelt werden konnte, betrug indeß noch nicht voll 12 Pfund; ein Theil mochte ins Meer gefallen seyn, ein anderer ist noch bei dem Landvolk verborgen.

Der niedergefallene Meteorit gehört zu den gewöhnlichen oder normalen. Er hat das spec. Gewicht 3,668 und ist überzogen mit einer 0,5 bis 0,75 Millm. dicken rein schwarzen Rinde, die eine hellere, feste und harte Grundmasse einschließt. Eine frische Bruchfläche mit der Lupe betrachtet, zeigt: 1) eine große Menge silberweißer metallischer Körner nickelhaltigen Eisens, das, mit Salpetersäure geätzt, Widmannstätten'sche Figuren giebt; 2) Metallische Punkte und Körnchen von glänzend gelber Farbe, nach einer Untersuchung, aus reinem Schwefeleisen bestehend; 3) Punkte und Körnchen von matter rein schwarzer Farbe, wahrscheinlich ein Gemeng von mehreren Mineralien, vorherrschend Einfachschwefeleisen, Augit und vielleicht Chromeisen; 4) Kugelige Ausscheidungen, die sich in Nichts von der Grundmasse selbst unterscheiden, nur dichter, härter und feinkörniger als diese sind und zuweilen dunkler gefärbt erscheinen; 5) Zahlreiche rundliche dunklere Flecke von meist bläulicher Farbe.

Die von Hrn. G. ausgeführte Zerlegung des Steins lieferte auf 100 Theile desselben folgende Bestandtheile:

13,07 magnetische Theile, nämlich:

12,75 Nickeleisen  
0,25 Schwefeleisen  
0,04 unlösl. Chromeisen  
0,01 lösl. Chromeisen  
0,01 Phosphoreisen und Zinn;

86,93 unmagnetische Theile, davon

46,86 löslich in Chlorwasserstoffsäure:

41,13 Olivin  
5,59 Schwefeleisen  
0,11 Chromeisen  
0,03 Phosphoreisen;

40,08 unlöslich in Chlorwasserstoffsäure:

38,88 Labrador und Hornblende (oder  
Oligoklas und Augit)

0,40 unlösl. Chromeisen

0,57 lösl. Chromeisen

0,23 Phosphoreisen.

Es wurden auch Spuren von Mangan, Kobalt, Kohlenstoff und Schwefel aufgefunden, im Ganzen durch die vorläufige Untersuchung 16 Elemente (Sauerstoff eingeschlossen) nachgewiesen.

#### XVI. *Meteorsteinfall bei Civita-Vecchia.*

Im Cosmos vom 24. Oct. d. J. berichtet der Astronom Secchi von einem Meteorsteinfall, der sich am 17. Sept. (1856) gegen 10 $\frac{1}{2}$  Uhr Vormittags auf dem Meere bei Civita-Vecchia zugetragen hat. Der Ritter Giacchetti, Professor und Hafenpilot der Stadt, sah das Meteor fallen, als er eben auf einem norwegischen Schiffe den Hafen verlassen hatte. Das Meteor war von grossen Dimensionen, hatte einen langen Feuerschweif, und machte ein heftiges Geräusch, als es ins Wassers fiel, was nicht über 15 Schritt vom Schiffe geschah.

# **Namenregister**

zum

**Jahrgang 1856.**



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

(Die Bände 97, 98, 99 sind durch VII, VIII, IX bezeichnet.)

#### A.

- Airy** (G. B.), Ueb. die in d. Kohlengrube v. Harton gemacht. Pendelbeob. zur Bestimm. d. mittleren Dicht. der Erde VII. 599. — **S. Haughton**.  
**Andrews** (Th.), Ueb. die Beschaffenh. u. Eigenschaft d. Ozons VIII. 435. — **Polare Zersetz. d. Wassers** durch gemeine u. atmosph. Elektrizität. IX. 493.

#### B.

- Babo** (C. H. L. v.), Photograph. Versuche VII. 499. — **Die Fluoreszenz** erregende Eigenschaft der Flamme d. Schwefelkohlenstoffs VII. 508.  
**Baeyer**, Neue Formel z. Höhenmess. mit d. Barom. VIII. 371.  
**Baumert** (F. M.), Zur Ozonfrage IX. 88.  
**Becquerel** (E.), Ueb. d. Elektrizitätserreg. durch Reibung VIII. 509.  
**Beer** (A.), Allgem. Methode z. Bestimm. d. elektr. u. magnet. Induction VIII. 137. — Ueb. d. successiv. Entladungen zweier sphär. Conductoren während d. Annäh. VIII. 242.  
**Beetz** (W.), Zur Theorie d. Nobili'schen Ringe, VII. 22.  
**Behncke**, Ueb. d. chem. Zusammensetz. einig. Abändr. d. Arsenikieses und Arsenikeisens VIII. 184.

**Bernard** (F.), Ueb. d. Bestimm. d. Brechungsverhältnisse VII. 141. 145.

**Billet**, Ueb. e. neue Methode, den Gang d. außerordentl. Strahls im Kalkspath zu verfolg. VII. 148.

**Böttger** (R.), Ueb. d. Fluorescenz d. Kaliumplatincyans u. d. Zersetzung d. galvan. gefällt. Antimons VII. 333. — **Erzeug. sehr vollkomm. Lichtenberg'scher Figuren** VIII. 170. — **Ersatz der Statham'schen Zünder** VIII. 191. — **Erschein. b. Sieden** VIII. 512. — Ueb. eine lange wirksam bleibend. Volt. Batt. IX. 233.

**v. Breda und Logeman**, Ob d. galvan. Strom das Wasser ohne dess. Zersetz. durchlaufen könne IX. 634.

**Brunner** (sen.), Ueb. d. Darstell. d. Aluminiums VIII. 488.

#### C.

- Clausius** (R.), Ueb. d. Anwend. d. mechan. Wärmetheorie auf d. Dampfmaschine VII. 441 u. 513. — Ueb. d. Zusammenh. zwisch. d. Satz von d. Aequivalenz von Wärme u. Arbeit u. dem Verhalt. d. permanent. Gase VIII. 173.  
**Crookes**, Photograph. Untersuch. üb. d. Sonnenspectr. VII. 616.

#### D.

**Despretz**, Kann d. galv. Strom d. Wasser ohne dessen Zersetz. durchlaufen IX. 626.

Dufour, (L.), Einfluß d. Temperatur auf d. Kraft d. Magnete IX. 476. — Ueb. d. Festigkeit v. Eisendrähnen, die vom galvan. Strom durchlauf. wurden IX. 611.  
Duprez, Meteorsteinfall in Ostflandern IX. 63.

## E.

Edlund (E.), Bemerk. zu Siemens's Aufs. üb. d. telegraph. Gegensprechen VIII. 632. — Siehe Siemens.  
Eisenlohr (W.), Die brechbarst. od. unsichtbar. Lichtstrahl. d. Beugungsspectr. und ihre Wellenlänge VIII. 353. — Die Wellenlänge d. brechbarst. u. die auf Jodsilber chem. wirk. Strahlen IX. 159.  
Emsmann (H.), Luftspiegung an d. Sonne VIII. 642.  
Erman (A.) u. Herter (P.), Messung d. permanent. Ausdehn. des Gulseisens b. Erhitzen u. dabei gebraucht. Mittel z. Bestimm. hoh. Temp. VII. 489.  
Esselbach (E.), Eine Wellenmessung i. Spectr. jenseits d. Violets VIII. 513. — Anwend. d. Talbot'schen Linien als Mittel z. Mess. opt. Const. VIII. 527. — Mess. d. Brechungsexp. d. ordentl. Strahls im Quarze VIII. 541.

## F.

Fabre, Ueb. d. Ursache d. Phosphorescenz d. *Agaricus olearius* VII. 335.  
Faraday u. Rieffs, Ueb. d. Wirk. nicht-leitender Körper bei d. elekt. Induct. VII. 415.  
Faye, Neu. Stereoskop IX. 641.  
Frankenheim (M. J.), Ueb. d. Anordn. d. Molecüle i. Krystall. VII. 337.  
Franz (R.), Thermo-elekt. Erschein. an gleichartigen Metallen VII. 34.

## G.

Göbel (A.), Meteorsteinfall auf Oesel IX. 642.

Grailich (J.), Ueb. d. Brech. u. Reflex. d. Lichts an Zwillingsfläch. opt. einaxig. Krystalle VIII. 203.  
Greifs (C. B.), Ueb. d. Magnetism. d. Eisenerze VIII. 478.

## H.

Haidinger (W.), Optisch-mineralog. Aufschraube-Goniometer VII. 590.  
Halske, Stromunterbrecher VII. 641.  
Harting (P.), Ueb. kleine Wirbelbeweg. in Gemischen von Alkohol und flücht. Flüssigk. VII. 50.  
Haughton (S.), Mittl. Dichte d. Erde nach Airy's Versuchen IX. 332.  
Hausmann, Ueb. d. bei Bremerförde gefalln. Meteorstein VIII. 609.  
Heidenreich (F. W.), Elektromagnet. Apparat mit gleichlauf. Inductionsström. VII. 275.  
Heintz (W.), Ueb. d. Verhalt. d. Chloroforms z. andr. Körper., namentl. Ammoniak, in höh. Temp. VIII. 263. Einwirk. d. Chlorschwefels auf ameisensauren Baryt, essigs. u. benzoësaure. Natron VIII. 458.  
Heis (E.), Ueb. d. Feuerkugel d. 3. Febr. 1856. VIII. 333. Die Sternschnupp. d. Juli- und Augustperiode 1856. IX. 322.  
Helmholtz (H.), Ueber Combinationstöne IX. 497.  
Henrici (F.), Ueb. d. Einfluß d. Bodennähe auf d. Anzeig. d. im Freien aufgehängt. Thermometer VII. 319.  
Herter s. Erman.  
Heusser (Ch.), Ueb. d. Dufrénoysit, Binnit u. Adular d. Binnenthals VII. 115. — Krystallf. des Aldehyd-Ammoniaks IX. 171. — Krystallf. d. Pennins IX. 174.  
Hittorf (W.), Ueb. d. Wanderungen d. Ionen während d. Elektrolyse VIII. 1.  
Hofmann (A. W.), Ueb. d. Bromtitan VII. 510.  
Holtzmann, Das polarisirte Licht

schwingt in d. Polarisations-Ebene IX. 446.

Hoppe (R.), Ueb. d. Wärme als Äquivalent d. Arbeit VII. 30.

Houzeau, Ueb. d. Sauerstoff im activ. Zustand IX. 165.

Humboldt (A. v.), Ueber einige Erschein. in d. Intensität d. Thierkreislichts VII. 138.

### J.

Jamin, Neu. Interferential-Refract. VIII. 345. — Ueb. d. Endosmose d. Gase IX. 327.

Jenzsch (G.), Zirkonhalt. Tantalite v. Limoges VII. 104. — Ueb. einige phosphors. Eisenoxydoxid-Verbind. VIII. 629. — Ueb. d. Bestimm. d. spec. Gewichts IX. 151. — Analyse d. Phonoliths v. Nestomitzer Berge IX. 417.

Joule (J. P.) u. Thomson (W.), Ueb. die Wärmewirk. bewegter Flüssigk. VII. 576.

### K.

Kefersteine (W.), Ueb. d. Krystallf. einiger chem. Verbind. IX. 275.

Kenngott (A.), Ueb. einige Krystallf. d. Siderits VII. 99. — Ueb. einige besond. Exempl. d. Calcits VII. 310. — Ueb. d. Tyrit VII. 622. — Ueb. e. gestörte Krystallbild. d. Quarzes VII. 628. — Beschreib. e. neuen Min. v. Felsöbanya, VIII. 165. — Ueb. Pyritkrystalle im Quarz VIII. 168. — Ueb. d. Zusammensetz. des Vanadinites IX. 95.

Knochenhauer (K. W.), Ueb. d. Wirk. e. Eisendrahtbündels auf d. elektr. Strom VII. 260.

Kohlrausch (R.), Ueb. d. elektr. Vorgänge bei d. Elektrolyse VII. 397 u. 559. — Ueb. Regnault's Bestimm. d. Gew. e. Liters Luft u. d. Dichte d. Wass. bei 0° VIII. 178. — S. W. Weber.

Koosen, (J. H.), Ueb. Ladung d. Leidner Batt. durch elektr. Induct. VII. 212.

Krantz, Ueb. Vorkom. d. Kryoliths VIII. 511.

Kremers (P.), Ueb. die Löslichkeitscurven einig. Salzatome u. d. Siedpunkte gesätt. Salzlösungen VII. 1 u. IX. 25. — Ueb. d. Contractionen, welche d. Misch. verschiedner Salzlösungen begleiten VIII. 58. — Ueb. d. Modification d. mittl. Eigenschaft IX. 58. — Ueb. d. Modificat. d. mittl. Volume einiger Salzatome u. deren Lösungen IX. 435.

Krönig (A.), Grundzüge e. Theorie d. Gase IX. 315.

### L.

Lacassage und Thiers, Neue Volt. Batt. VIII. 306.

Lamont (J.), Anwend. d. galvan. Stroms z. Bestimm. d. absoluten magnet. Inclinat. VII. 638.

Landolt (H.), Ueb. d. chemisch. Vorgänge in d. Flamme d. Leucht-gases IX. 389.

Legrand, Ueb. d. latente Wärme d. Dämpfe VIII. 349.

Lewinstein (G.), Zusammensetz. d. Domits vom Puy-de-Dôme VIII. 163.

Logeman s. Van Breda.

### M.

Magnus (G.), Ueb. d. allotrop. Zustände d. Schwefels IX. 145.

Marbach (H.), Ueb. d. Entiomorphie u. d. opt. Eigenschaft. von Krystallen d. tesseralen Systems IX. 451.

Meyer (H.), Ueb. d. Strahlen, die e. leuchtend. Punkt im Auge erzeugt VII. 233. — Ueb. Beugungs-Erscheinungen VIII. 133 u. 214.

Meyerstein, Instr. z. Bestimm. d. Brech- u. Zerstreuungsvermögens verschied. Medien VIII. 91.

Mitscherlich (E.), Ueb. d. Krystallf. u. isomer. Zustände d. Selen u. d. Krystallf. d. Jods VIII. 547.

Moesta, Ueb. Lichtphänomene in Chili VIII. 340.

Mohr (C. T.), Eine neue Form d. Galvanomet. IX. 102.

Montigny, Ueb. d. Ursache des Funkeln VIII. 620.

Müller (J.), Photographirte Spectra VII. 135.

## N.

Negretti u. Zambra, Maximum-Thermomet. IX. 336.

Nöllner, Ueb. d. Rhodankalium VIII. 189.

## O.

Oesten (F.), Ueb. d. Vorkomm. d. Tantalsäure i. Columbit v. Bodenmais IX. 617.

Oppel (J. J.), Ueb. das Anaglyptoskop IX. 466. — Ueb. e. eigenthüml. und noch wenig bekannte Reactionsthatigk. d. menschl. Auges IX. 540.

Osann (G.), Neue Versuche über d. Verschiedenh. zwisch. galvan. u. gewöhnl. Wasserstoff VII. 327. — Beitr. z. Lehre von d. Fluorescenz VII. 329. — Ueb. d. Ozon-Wasserstoff VIII. 181.

## P.

Peligot (E.), Darstell. d. Urans VII. 630.

Petrina (F.), Ueber Coëxistenz zweier einen Leiter in entgegengesetzt. Richtung durchlaufender Ströme VIII. 99.

Plateau, Bericht üb. Montigny's Arbeit üb. d. Funkeln VIII. 620. — Ueb. d. neueren Theorien von d. Beschaffenh. d. aus kreisrund. Oeffnung. hervortretend. Flüssigkeitsstrahlen IX. 594.

Poggendorff, Elektricitätsleit. d. Aluminiums VII. 643. — Anwend. d. Inductionslichtes VIII. 191. — Neue Art v. Ton-Erregung durch den elektr. Strom VIII. 192. — Elektroskop. Benutz. des elektr. Eies IX. 176.

Pouillet, Der Aktinograph, Instr., welches Anfang, Ende u. Dauer d. Sonnenscheins anzeigt IX. 621.

## Q.

Quet; Ueb. d. Diffraet. d. Lichts in e. sehr eng. Spalte u. b. ein. sehr dünn. Draht IX. 329.

Quincke (G.), Ueb. d. Verbreit. e. elektr. Stroms in Metallplatt. VII. 382.

## R.

Raimondi (A.), Neu. Verfah. die Dichte starr. Körper z. bestimm. IX. 639.

Rammelsberg (C.), Ueb. d. Doppelsalze aus zweifach-jodsaure. Kali und Chlorkalium oder schwefels. Kali VII. 92. — Ueb. d. Völknerit v. Snarum VII. 296. — Ueb. d. sogenannt. Steatit VII. 300. — Ueb. d. Boronatrocalcit aus Südamerika VII. 301. — Chem. Zusammensetz. d. Leucits u. dessen Zersetzungsproducte VIII. 142. — Krystallf. u. Zusammensetzung d. Vanadinbleierz VIII. 249. — Ueb. Identität d. Leukophans u. Melinophans VIII. 257. — Ueb. den Tachydril VIII. 261. — Krystallf. u. Salze d. Thialdins VIII. 605.

Rath (G. vom), Ueb. d. pseudomorph. Glimmer v. Lomnitz VIII. 280.

Regnault (V.), Spec. Wärme einiger einfach. Körper u. isomere Modificat. d. Selens VIII. 396.

Reich (F.), Ueb. diamagnet. Wirk. VII. 283.

Renz (Th.) u. Wolf (A.), Ueb. d. Unterscheid. different. Schallstärken VIII. 595.

Riefs (P.), Einfl. d. Leit. e. elektr. Stroms auf d. Art sein. Entlad. VIII. 571. — Ueb. d. elektr. Pausen IX. 1. — Pausen-Erschein. am Inductionsapparat IX. 636. — S. Faraday.

Rijke (P. L.), Ueb. d. Schlagweite d. Ruhmkorff'sch. Apparats VII. 67. — Ueb. d. Elektr. Erreg., die man beobachtet, wenn e. Flüssigk. den sphäroidal. Zustand verläßt VIII. 500.

Rive (de la), Kann der galvan. Strom d. Wasser ohne dess. Zersetz. durchlauf. IX. 626.

Rose (G.), Ueb. Schaumkalk als Pseudomorphose d. Arragonits VII. 161. — Ueb. d. dicht. Boracit v. Stafsurt VII. 632.

Rose (H.), Ueb. d. Carnallit VIII. 161. — Ueb. d. borsäure Aethyl-oxyl VIII. 245. — Bemerk. üb. d. Atomgew. des Antimons VIII. 455. — Ueb. das Tantal u. seine Verbind. mit Chlor u. Brom IX. 65. — Ueb. d. Verbind. d. Tantals mit d. Fluor IX. 481. — Ueb. Schwefeltantal IX. 575.

## S.

Salm-Horstmar (Fürst), Untersuch. d. grün. Stoffs wahrer Infusor. VII. 331. — Ueb. d. Fluorescenz e. Stoffs d. Rinde v. *Frazin. excels.* VII. 637 u. 644. — Fluorescenz d. Aesculetins VIII. 189. — Beob. üb. Fluorescenz VIII. 343. — Chlorplatin-aluminium IX. 638.

Sartorius v. Waltershausen, D. Parastilbit, eine neu. Mineral-spec. IX. 170.

Schmid (E. E.), Chem. mineralog. Mittheil. VII. 108.

Schmidt (W.), Ueb. d. Filtrationsgeschwindigkeit. verschiedn. Flüssigkeiten durch thier. Membran IX. 337.

Schneider (J.), Einige elektr. Meteore VIII. 324.

Schneider (R.), Ueb. d. Kupferwismuthglanz v. Wittichen VII. 476. — Ueb. Darstell. d. zweifach. Schwefelwismuths auf nass. Wege VII. 480. — Ueb. d. Aequivalent d. Antimons VII. 483 u. VIII. 293. — Ueb. Dreifach-Jodwismuth IX. 470.

Schönbein (C. F.), Ueb. d. Ozongehalt d. bei langsam. Verbrenn. d. Phosphors in atmosphär. Luft sich bild. Säure IX. 473.

Schröder (F. H.), Fernere Beitr. zur krystallogr. Kenntn. d. Datoliths VIII. 34.

Secchi, Meteorsteinfall b. Civita-Vecchia, IX. 644.

Sénarmont (H. de), Untersuch. üb. d. Doppelbrech. VII. 605. — Krystallf. d. Siliciums VII. 644.

v. Seydlitz, Relation zwisch. Wärmecapacität, Temp. u. Dichte d. Gase VIII. 77. — Ueb. d. Temperatur-Abnahme in d. Luftschicht. IX. 154. — Die Hypothese: Die Wärme ein Product aus Temp. u. mechan. Kraft IX. 562.

Siemens (W.), Ueb. d. Befördr. gleichzeit. Depeschen durch einen Telegraphendraht VIII. 115 u. 183. — Beantwort. der Bemerk. Edlund's dagegen IX. 310.

Silbermann (J. J.), Neu. Hahn-system f. Luftpumpen VIII. 638.

Soleil (H.), Ueb. einig. Erschein. b. circular-polarirt. Licht; neuer Polarisat. App. u. neuer Compensator VII. 152. — Neues Mittel zu erkenn., ob unter sich parallele Quarzflächen auch der Axe parallel sind VII. 155.

Stöhrer (E.), Verbessert. Inductionsapp. VIII. 104.

## T.

Tellkampf (N), Begründ. e. möglichst einfach. Theorie d. Kreisbewegung VIII. 558.

Thiers s. Lacassagne.

Thomson (W.), Thermo-elekt. Stelle d. Aluminiums IX. 334. — S. Joule.

## V.

Vettin (F.), Meteorolog. Untersuch. IX. 106.

## W.

Weber (R.), Verh. d. Schwefelquecksilb. z. d. Schwefelverbindungen d. alkal. Metalle VII. 76.

Weber (W.) u. Kohlrausch (R.), Ueb. d. Elektr. Menge, die b. galvan. Strom durch d. Querschnitt d. Kette fließt IX. 10.

Websky, Ueb. einig. Flächen d. Quarzes IX. 296.

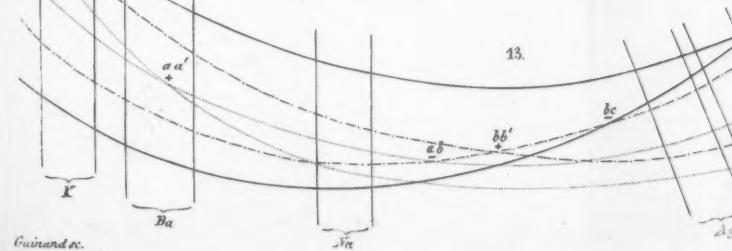
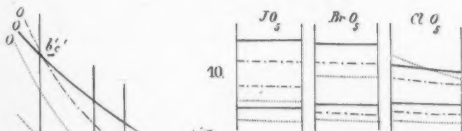
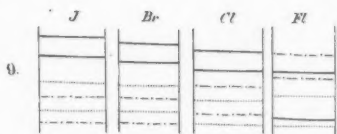
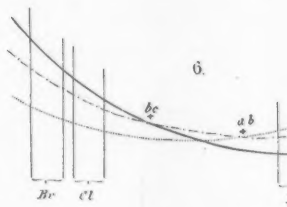
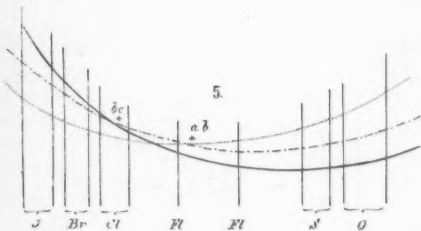
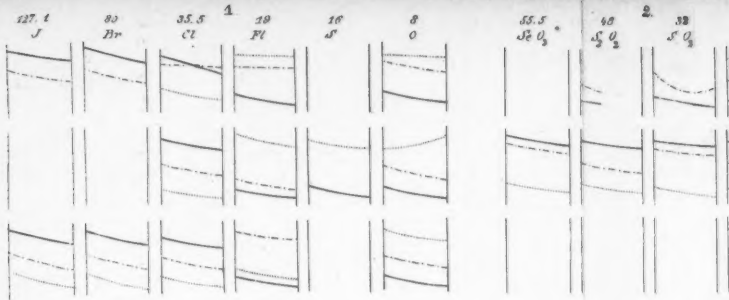
Wiedemann (G.), Ueb. die Beweg. d. Flüssigk. im Kreise der geschloss. galvan. Kette und ihre Bezieh. z. Elektrolyse IX. 177.

Wild (H.), Neu. Photometer und Polarimet. nebst einig. damit angestell. Beob. IX. 235.

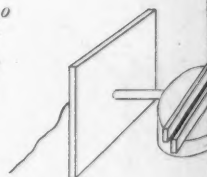
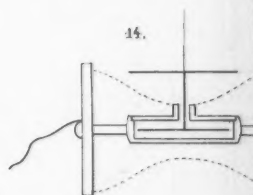
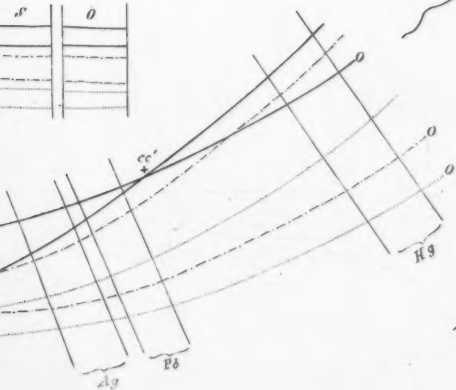
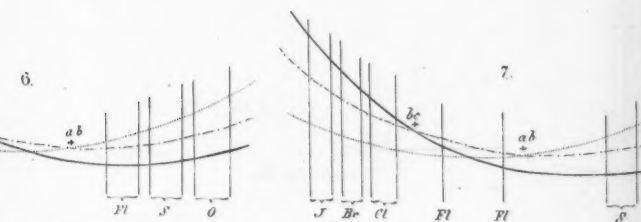
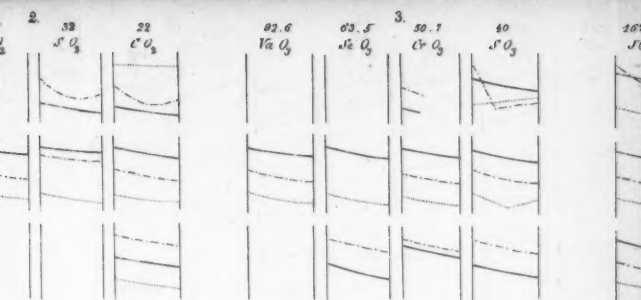
- Willigen (Van der), Ueb. d. geschichtete Licht i. elektr. Ei. VIII. 494. — Ueb. Ozonbild. VIII. 511. — Ueb. d. Schicht. d. elektr. Lichts IX. 175
- Wittstein (C. G.), Ueb. d. blaue phosphors. Eisenoxyduloxyd VII. 158.
- Wittwer (W. C.), Ueb. d. Einwirk. d. Lichts auf Chlorwasser VII. 304.
- Wöhler (F.), Ueber d. Silicium VII. 484.
- Wolf (A.), Siehe Renz.
- Wolf (C.), Ueb. d. Temperat. bei der Flüssigk. anhöhr. Gefäße zu benüss. VIII. 643.
- Wolf (R.), Ozonbeobachtungen VII. 640.
- Z.
- Zambra s. Negretti.
- Zamminer, Ueb. d. Schwingungsbeweg. d. Luft VII. 173.
- Zech (P.), Ueb. d. Ringsysteme d. zweiax. Kryst. VII. 129.
- Zimmermann (K. G.), Bestätig. d. von H. Fritsch nachgewies. säcular. Temperat. Aender. VIII. 307.

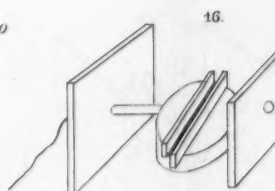
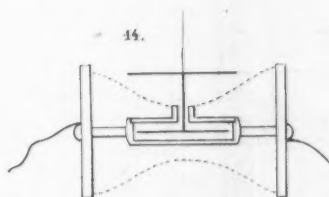
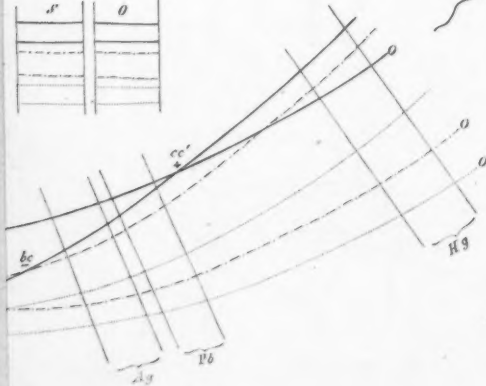
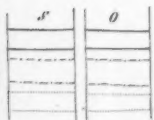
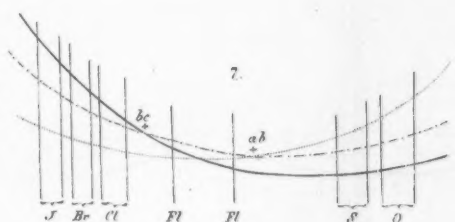
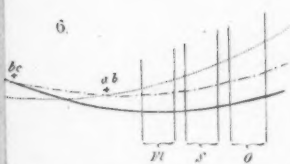
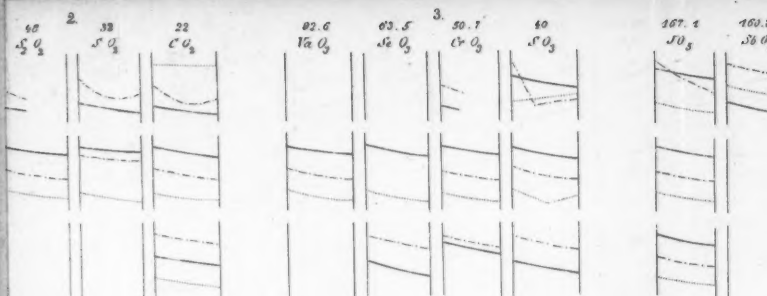


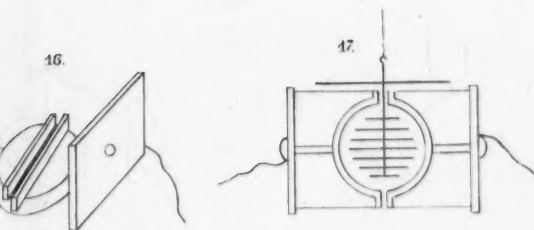
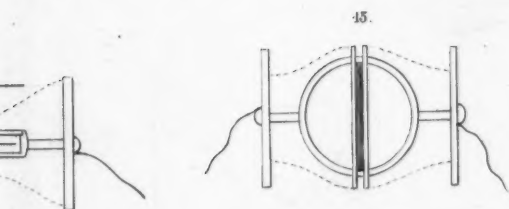
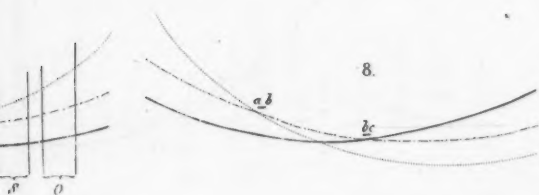
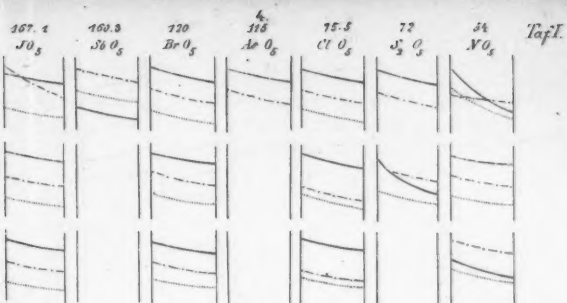


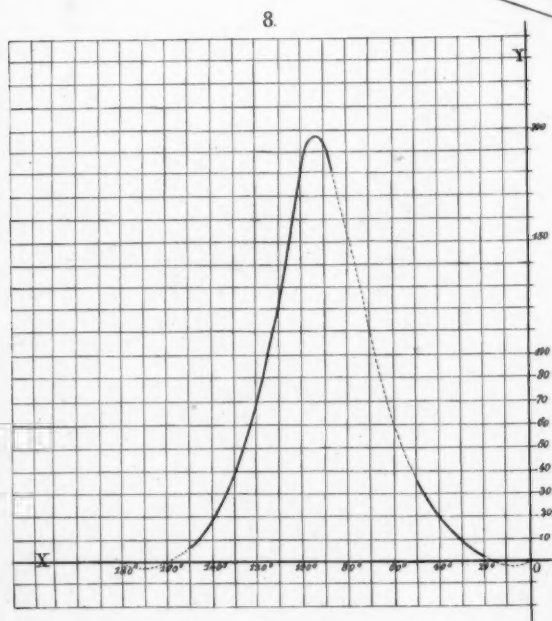
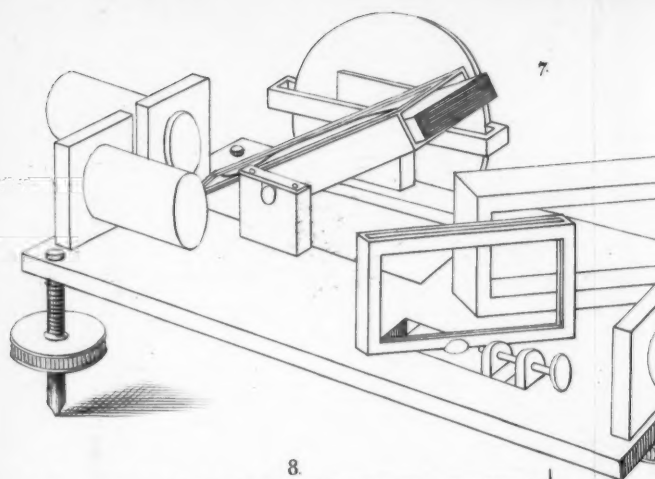


Guinand &c.



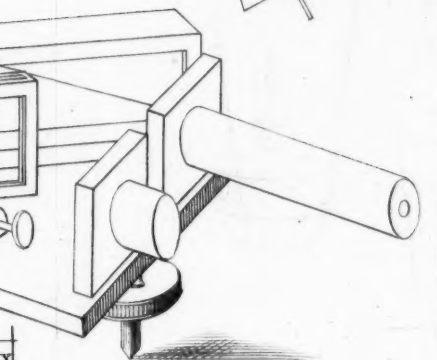






Guinand sc.

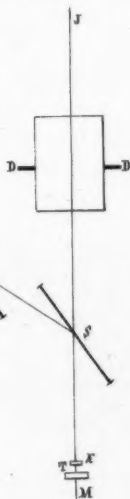
7.



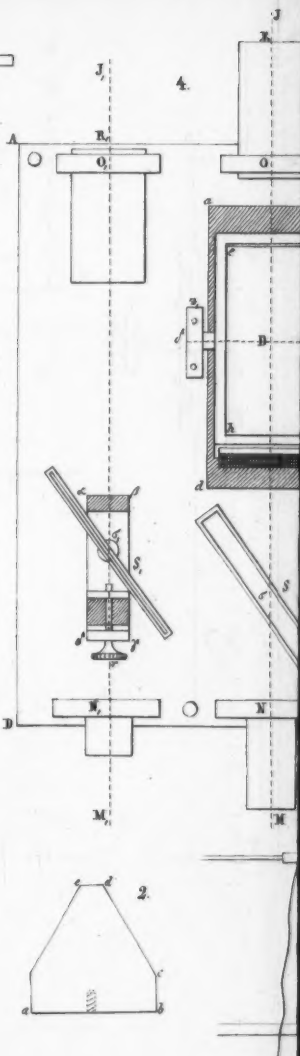
5.

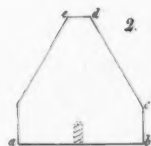
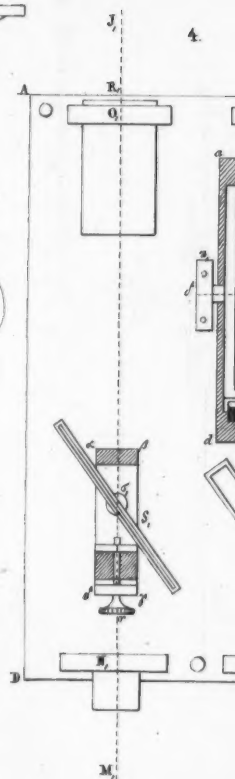
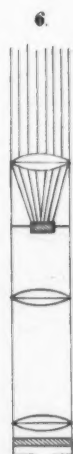
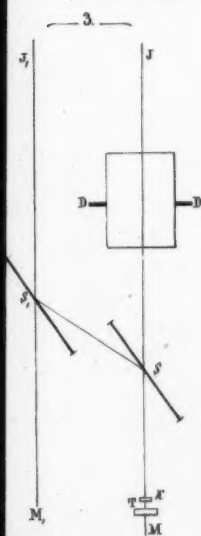
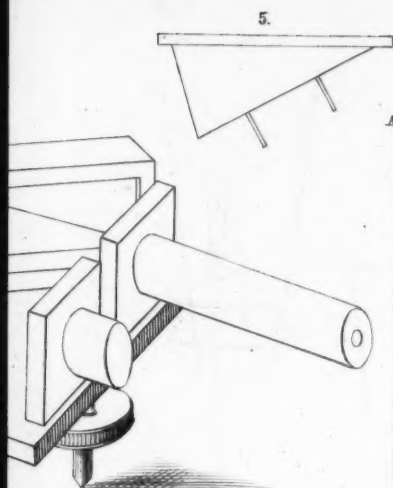


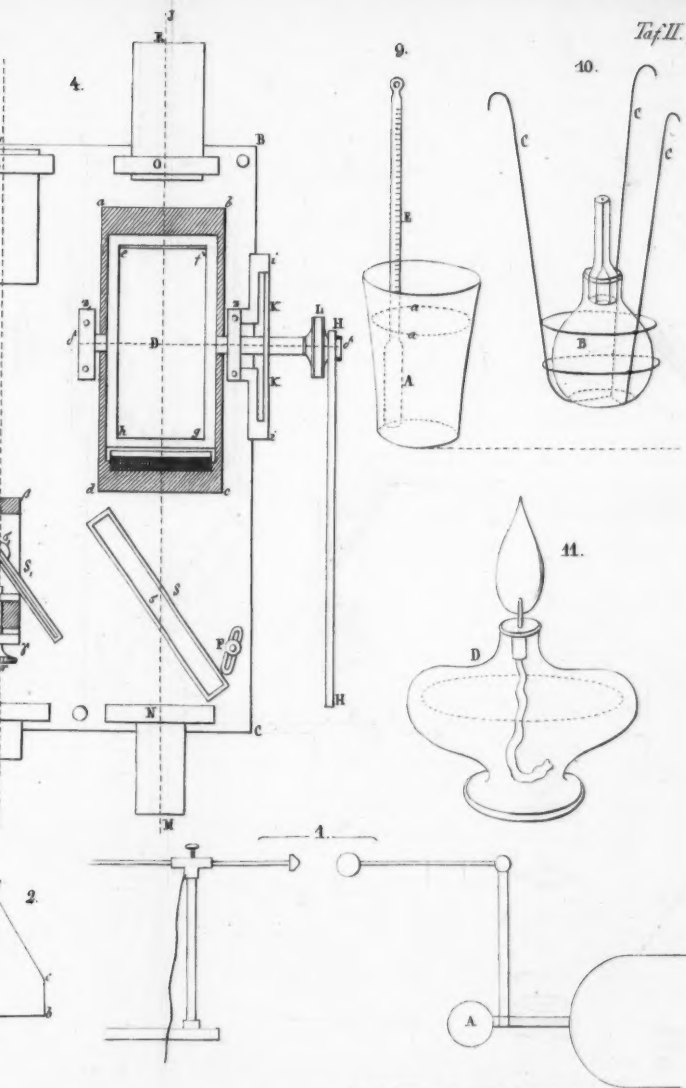
3.



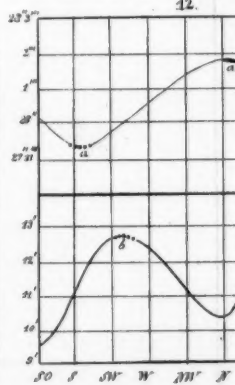
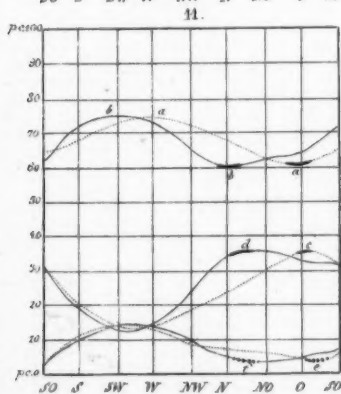
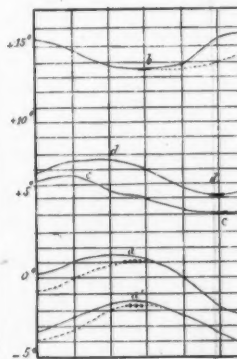
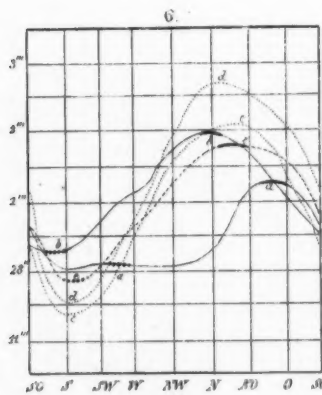
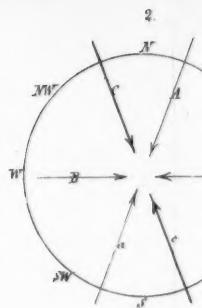
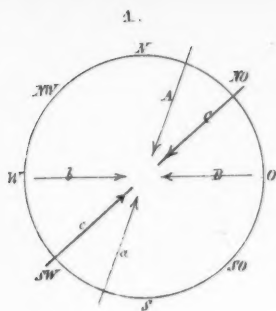
6.

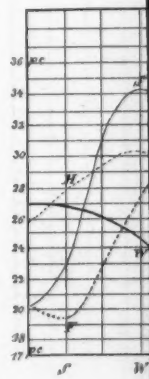
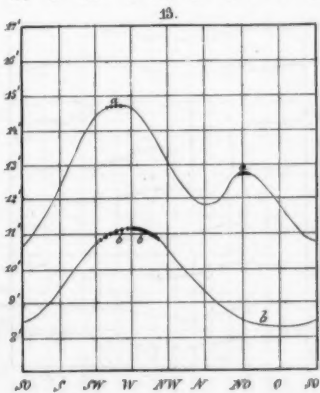
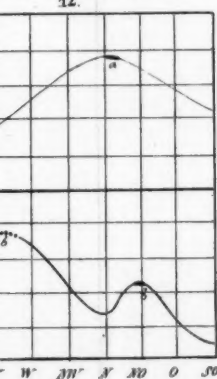
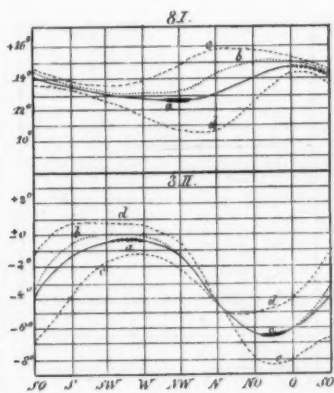
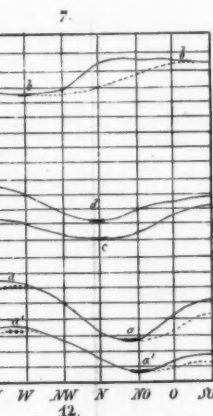
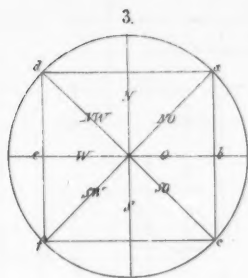


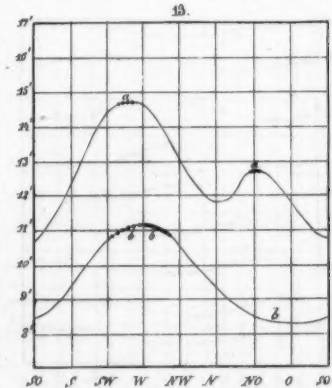
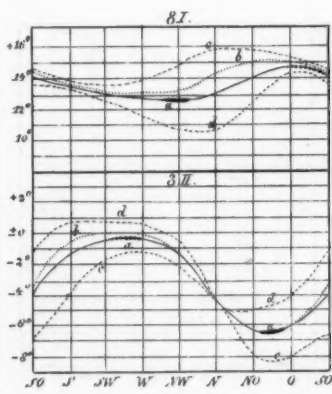
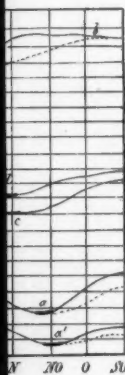
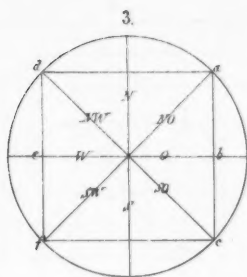
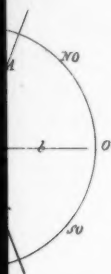


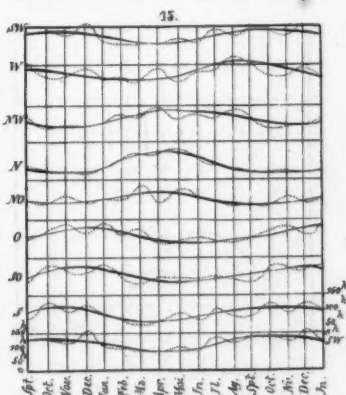
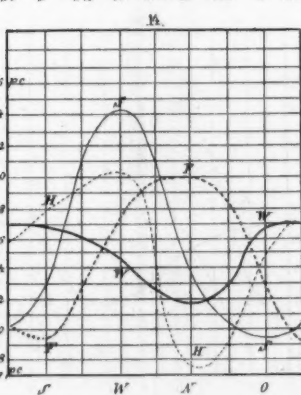
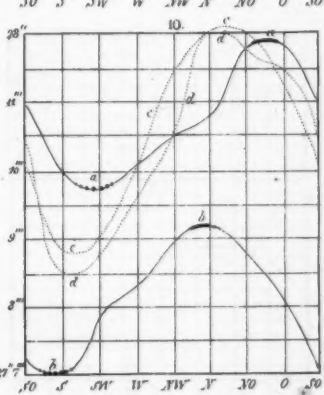
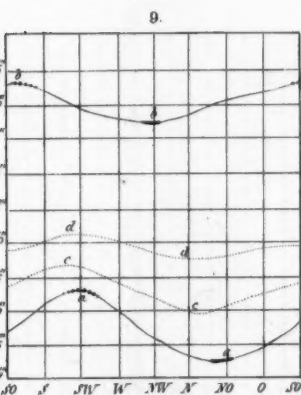
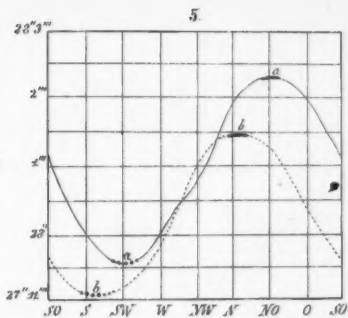
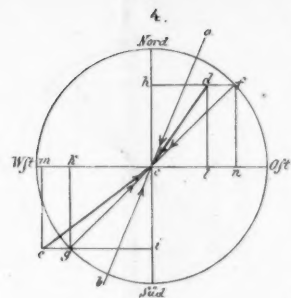


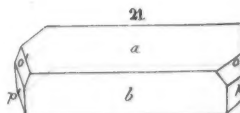
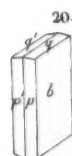
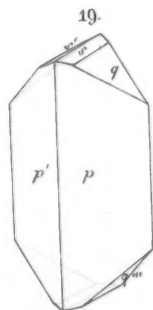
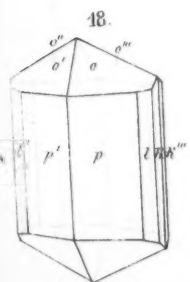
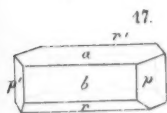
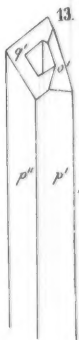
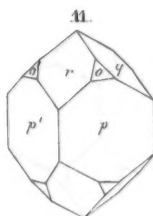
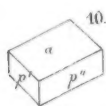
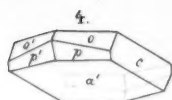
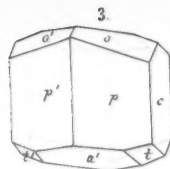
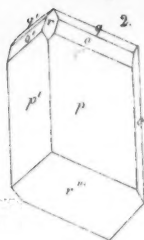






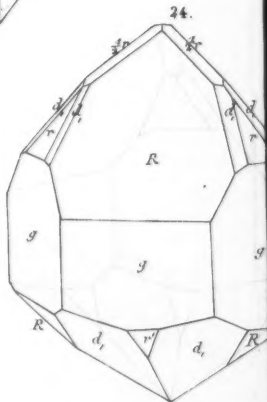
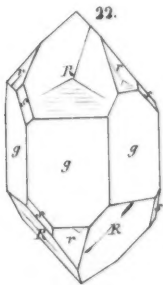
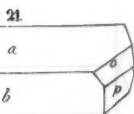
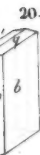
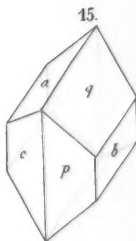
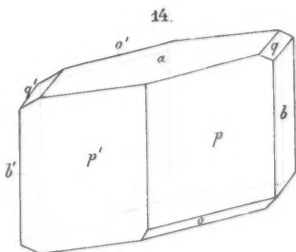
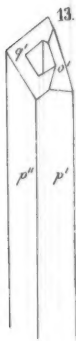
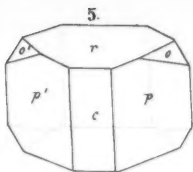






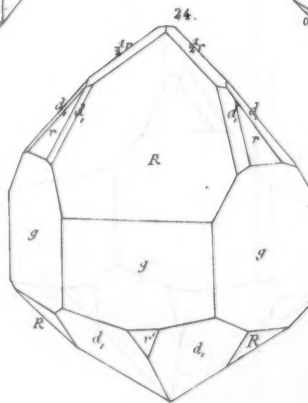
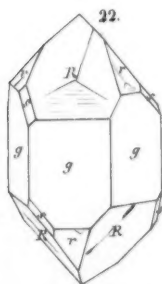
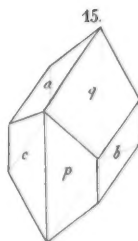
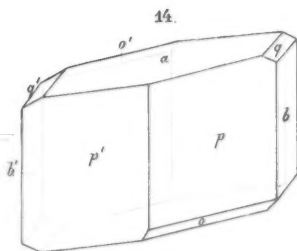
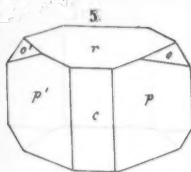
Grinand, &c.

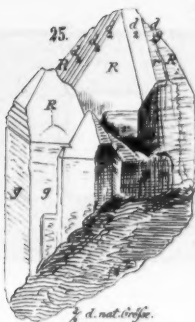
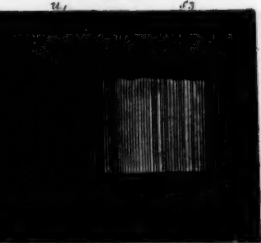
$n \ m \ l \ R \ g$



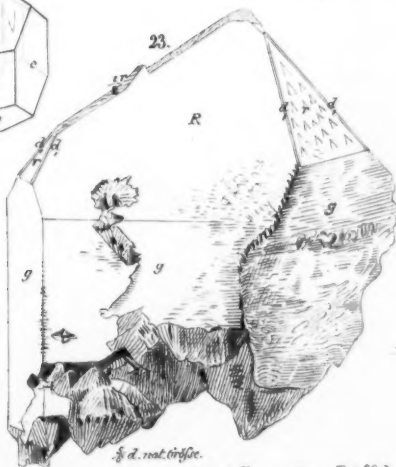
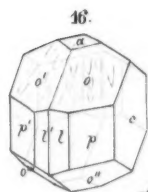
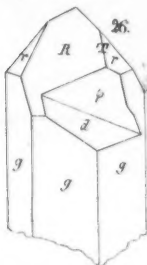


n m l R g





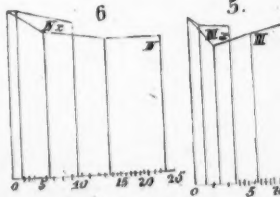
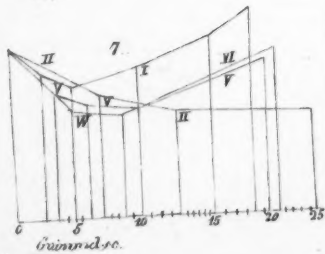
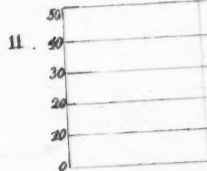
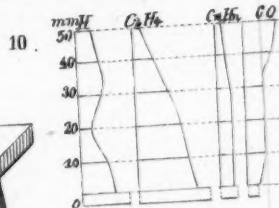
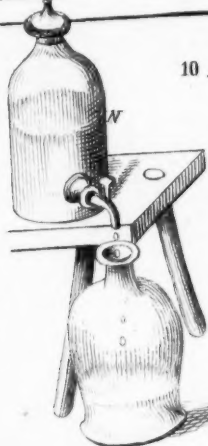
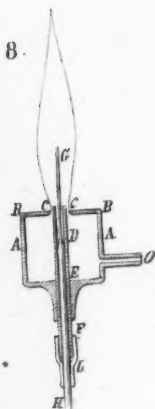
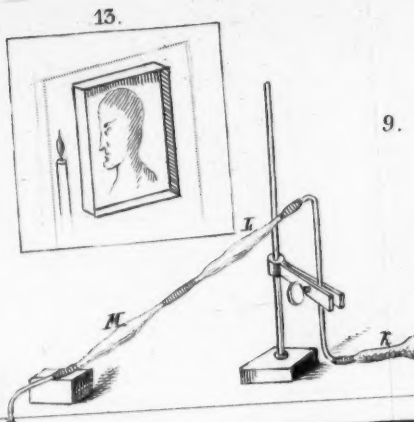
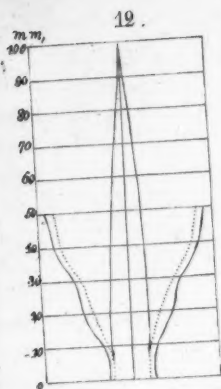
$\frac{1}{2}$  d. nat. Größe.

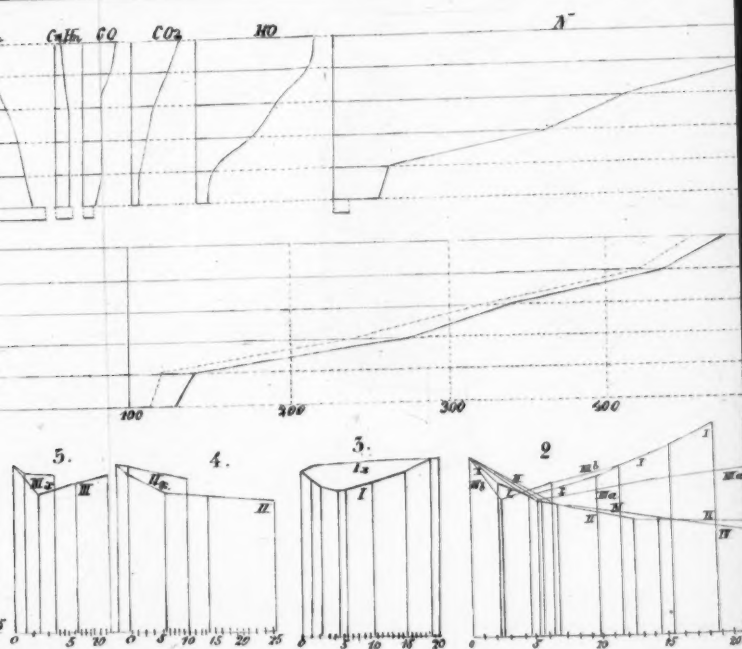
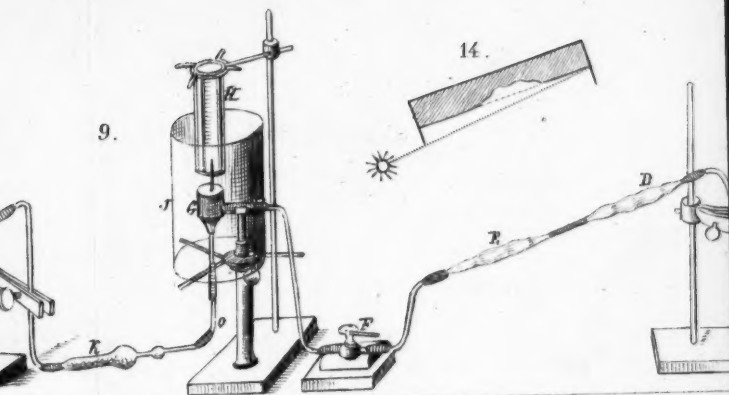


$\frac{1}{2}$  d. nat. Größe.

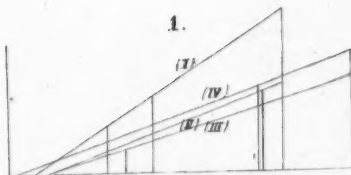
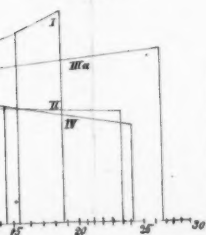
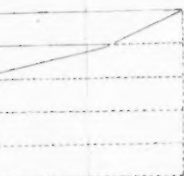
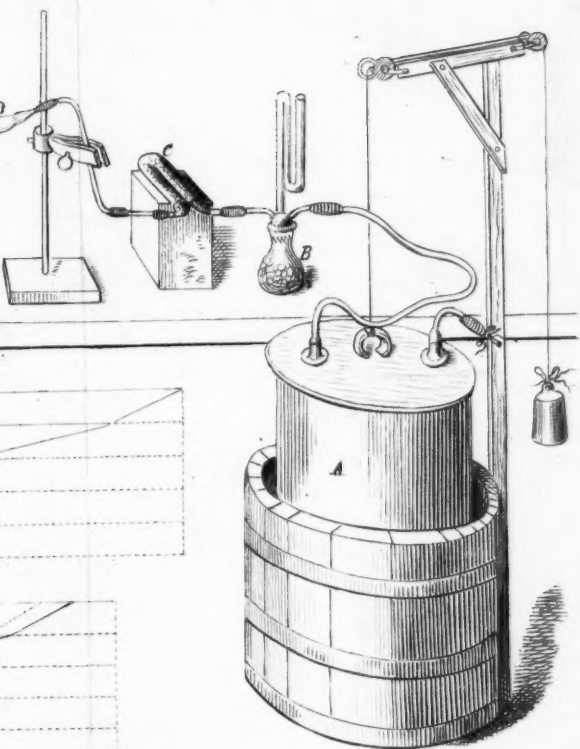
Anw. d. Phys. u. Chem. Bd. 2. 2.











Ann. d. Phys. u. Chem. B. 99. St. 3.